

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ
АГРАРНЫЙ ЦЕНТР»

На правах рукописи

СУХОВЕЕВА АНГЕЛИНА ВЛАДИМИРОВНА

**ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНОВ *GH*, *CAST*, *GDF9* И ЕГО
АССОЦИАЦИИ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРОДУКТИВНОСТИ
ОВЕЦ ПОРОДЫ МАНЫЧСКИЙ МЕРИНОС**

Специальность

4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук, доцент
Скорых Лариса Николаевна

Ставрополь – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.....	14
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	14
1.1. Современные аспекты развития тонкорунного овцеводства в России.....	14
1.2. Характеристика и перспективы развития исследуемой породы овец маньчский меринос	21
1.3. Методы молекулярной генетики в животноводстве.....	27
1.3.1. Использование молекулярно-генетических маркеров в селекции овец	32
2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	42
2.1. Природно-климатические условия локализации исследуемой популяции овец	42
2.2. Методики генотипирования и биохимических исследований	46
2.3. Оценка генетической структуры исследуемой популяции овец	48
2.4. Методы исследования продуктивных показателей	50
3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ ..	54
3.1. Полиморфизм генов соматотропина (<i>GH</i>), кальпастатина (<i>CAST</i>), дифференциального фактора роста (<i>GDF9</i>) у овец породы маньчский меринос .	54
3.1.1. Генетическая структура исследуемой популяции овец.....	59
3.2. Ассоциация полиморфизма в генах <i>GH</i> , <i>CAST</i> и <i>GDF9</i> с показателями роста овец породы маньчский меринос.....	64
3.2.1. Динамика живой массы молодняка овец исследуемой популяции.....	64
3.2.2. Экстерьерные особенности молодняка овец исследуемой популяции	73
3.3. Ассоциация полиморфизма в генах <i>GH</i> и <i>CAST</i> с количественными и качественными признаками мясной продуктивности баранчиков породы маньчский меринос	85
3.3.1. Убойные качества, морфологический и сортовой состав мышечной ткани .	85
3.3.2. Степень развития внутренних органов и микроструктурный анализ мышечной ткани.....	91

3.4. Показатели естественной резистентности ярок с различными генотипами по генам <i>GH</i> , <i>CAST</i> , <i>GDF9</i>	103
3.5. Биохимические показатели крови ярок с различными генотипами по генам <i>GH</i> , <i>CAST</i> , <i>GDF9</i>	106
3.6. Ассоциация полиморфизма в гене <i>GH</i> с количественными и качественными показателями шерстной продуктивности ярок породы маньчский меринос.....	119
3.7. Экономическая оценка результатов исследований.....	129
4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	132
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	138
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	172

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Овцеводство - одна из отраслей животноводства, отличающаяся широким разнообразием продукции. Помимо этого, указанная отрасль способна эффективно производить продукцию за счет использования природных и кормовых ресурсов в условиях их ограниченной доступности и недоступности для других видов сельскохозяйственных животных (P.S. Ostapchuk et al., 2018; М.М. Войтюк и др., 2021).

Важной задачей отечественного овцеводства является использование в системах разведения пород, сочетающих в себе желательный уровень шерстных качеств с высокими воспроизводительными и откормочными показателями. Одной из таких пород, характеризующихся отличной шерстной продуктивностью, наряду с высокими мясными качествами, является порода маньчжский меринос. При этом важной задачей современной селекционно-племенной работы с породой является повышение мясной продуктивности (Ю.А. Колосов и др., 2022). Общеизвестные методы селекции, которые применяются в овцеводстве, не всегда дают возможность в полной мере использовать генетический потенциал существующих пород (И.Ф. Горлов и др., 2021). Вследствие чего для увеличения производства высококачественной мясной продукции возникает потребность во внедрении в отрасль новых подходов с учетом сочетания классических методов селекции с молекулярно-генетическими (В.П. Лушников и др., 2020). В последнее время наблюдается интенсивность исследовательских работ, направленных на способы включения молекулярной информации (маркеров ДНК) в животноводческую отрасль, что будет способствовать ускорению селекционного процесса.

В овцеводстве известен ряд маркерных генов, ассоциированных с хозяйственно ценными признаками животных. Особое внимание представляют исследования по оценке полиморфизма генов гормона роста (*GH*), дифференциального фактора роста (*GDF9*), предположительно сопряженных с ростом, признаками мясной продуктивности, воспроизводительными качествами

овец, гена *CAST* (кальпастатина), ассоциированного с нежностью мяса (А.И. Суров и др., 2022).

Кроме того, ген гормона роста (*GH*) оказывает влияние на другие биологические функции овец, а именно, особенности метаболизма, период лактации, шерстную продуктивность (Н.С. Сафонова и др., 2019; Л.Н. Скорых, Д.А. Ковалев и др. 2020; F. Hossain et al., 2020). Также имеются сообщения о связи гена *GDF9* с развитием мышечной массы и энергией роста (М.И. Селионова и др., 2020). Высокая экспрессия гена *CAST* положительно влияет на количество мяса в туше, но имеет обратную корреляцию с нежностью мяса у овец после убоя (В.А. Погодаев и др., 2019).

Вышеизложенное свидетельствует, что развитие молекулярной биологии и методов ДНК-анализа открыло новые возможности для более быстрого и точного отбора сельскохозяйственных животных, основанного на ДНК-маркерах (Р.М. Petrovic et al., 2017).

По этой причине изучение полиморфизмов данных генов чрезвычайно важно при проведении селекционных мероприятий, направленных на улучшение мясной и шерстной продуктивности у различных отечественных пород овец.

Учитывая актуальность молекулярно-генетических исследований как в научной области, так и в прикладной практической селекции, важность оценки генов, ответственных за производственные признаки овец, очевидна.

Однако на сегодняшний день еще недостаточно информации о полиморфизме генов *GH*, *CAST*, *GDF9* у овец отечественных пород. Поэтому весьма актуальным является наличие сведений о полиморфизме рассмотренных генов и их ассоциаций с признаками продуктивности овец породы маньчский меринос.

Степень разработанности темы исследования. В целях повышения экономической эффективности отрасли овцеводства возрастает необходимость внедрения современных технологий для увеличения производительности и улучшения качества продукции. Современные методы, основанные на использовании ДНК-технологий, позволяют ученым повысить точность и

эффективность традиционной селекции путем применения молекулярных маркеров. В настоящее время акцентируется внимание на генетическом улучшении экономически важных признаков у овец. Основной акцент устремлен к селекции, направленной на улучшение показателей мясной продуктивности (L. Zhang et al., 2013, А.И. Суров, Л.Н. Скорых и др., 2022, Т.Е. Денискова, О.А. Кошкина и др., 2024).

В овцеводстве, предлагаемые сведения об основных генах или локусах, оказывающих влияние на особенности роста и продуктивные параметры овец, имеют определенные ограничения. При этом необходимо принять во внимание тот факт, что не все гены располагают полезной информацией в пользу целенаправленного маркерного отбора по продуктивным показателям. Поэтому особое внимание следует акцентировать на информации по накоплению и расширению знаний о генетической структуре овец отечественных пород для дальнейшего выявления уникальных участков генома и значимых для селекции маркеров, ответственных за формирование хозяйственно ценных признаков (М.І. Selionova et al., 2020, Т.Е. Денискова и др., 2023, Т.Е. Денискова, А.В. Доцев и др., 2023).

Выявлена взаимосвязь полиморфизма гена *GH* с признаками мясной продуктивности у овец отечественных пород сальская (Ю.А. Колосов, 2017), советский меринос (Н.С. Сафонова и др., 2022), северокавказская мясо-шёрстная (Л.Н. Скорых и др., 2023). Для изучения полиморфизма гена *CAST* и его связи с характеристиками мясной продуктивности были проведены исследования на овцах эдильбаевской (Н.В. Широкова., И.Г. Казарова, 2020), волгоградской (Н.В. Широкова, 2020), ставропольской (Е.Д. Карпова, 2022) пород. Установлена взаимосвязь полиморфизма гена *CAST* и *GDF9* с показателями мясной продуктивности у овец российской селекции – алтайская горная порода (М. І. Selionova et al., 2020).

Однако значительные успехи в этом направлении достигнуты у зарубежных исследователей в области овцеводства, чему посвящено большое количество научных работ. Полученные экспериментальные данные на животных

свидетельствуют о том, что выявлена связь между локусами гена *GH* и массой тела, а также длиной хвоста у овец авасси (M. Bayraktar et al., 2022). Ученые из Саудовской Аравии, Ирана изучали нуклеотидные последовательности гена соматотропина у Харри, Белуджийских овец, определяющие взаимосвязь выявленных полиморфизмов на прирост живой массы (T.S. Abdelmoneim et al., 2017, M.V. Valeh et al., 2009). Получены экспериментальные данные о влиянии полиморфных вариантов гена *CAST* на мясную продуктивность у карнобатских мериносов, иль-де-франс (I. Dimitrova et al., 2017, M. Vozhilova-Sakova et al., 2017).

Помимо накопленных результатов исследований еще недостаточно сведений о наличии ассоциации генотипов однонуклеотидных полиморфизмов в рассмотренных генах с показателями роста и развития молодняка овец, биохимическими параметрами, количественно-качественными признаками мясной и шерстной продуктивности.

Исследования, направленные на получение сведений о полиморфизме генов и их ассоциаций с хозяйственно значимыми признаками продуктивности, позволят выявлять высокопродуктивных животных и будут способствовать разработке селекционных программ по совершенствованию овец породы маньчский меринос на основе генетических маркеров.

Объект и предмет исследования. Объектом диссертационного исследования являлись овцы породы маньчский меринос, образцы их ДНК, выделенные из цельной крови. Предметом исследований выступали полиморфизмы с. 255 G>A в гене *GH*, с.767+200G>A в гене *CAST*, и с.397G>A в гене *GDF9* и их ассоциации с количественно-качественными характеристиками мясной и шерстной продуктивности исследуемой популяции овец.

Цель и задачи исследований. Основная цель заключалась в установлении полиморфизма генов *GH*, *CAST*, *GDF9* и его ассоциации с показателями продуктивности овец породы маньчский меринос.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

- изучить частоту аллельных вариантов и генотипов полиморфизмов с. 255 G>A в гене *GH*, с.767+200G>A в гене *CAST*, и с.397G>A в гене *GDF9* у овец породы маньчский меринос;
- выявить взаимосвязь показателей роста у молодняка овец с разными генотипами рассматриваемых полиморфизмов в генах *GH*, *CAST* и *GDF9*;
- проанализировать наличие ассоциации генотипов изучаемых полиморфизмов в генах *GH*, *CAST* с количественными и качественными характеристиками мясной продуктивности баранчиков породы маньчский меринос;
- определить ассоциации генотипов по однонуклеотидному полиморфизму с. 255 G>A гена *GH* с показателями шерстной продуктивности ярок исследуемой популяции;
- изучить биохимические параметры крови ярок с учетом генотипов рассматриваемых полиморфизмов генов *GH*, *CAST* и *GDF9*;
- дать экономическую оценку эффективности выращивания ярок породы маньчский меринос разных генотипов.

Научная новизна работы. Впервые определены аллельные варианты генов *GH*, *CAST* и *GDF9* в популяции овец породы маньчский меринос, разводимой на территории Ставропольского края. Идентификация обнаруженных однонуклеотидных полиморфизмов, отвечающих за мясную продуктивность, и выравнивание на референсный геном было осуществлено в международной базе данных NCBI Genome. Для описания однонуклеотидных замен использовали номенклатуру HGVS, что позволило впервые выявить точечные мутации с. 255 G>A, с.767+200G>A и с.397G>A в структуре генома овец породы маньчский меринос. Впервые применен комплексный подход к изучению генетических ассоциаций с биохимическими параметрами и продуктивными характеристиками овец исследуемой популяции. Представлена генетическая структура овец породы маньчский меринос по генам *GH*, *CAST* и *GDF9*. Впервые проведен анализ ассоциаций генотипов исследуемых полиморфизмов генов *GH*, *CAST* и *GDF9* с признаками мясной и шерстной продуктивности у овец породы маньчский

меринос. Выявлены генотипы рассмотренных полиморфизмов в генах *GH*, *CAST* и *GDF9* с последующим генетическим обоснованием перспективности селекции для дальнейшей оценки овец с высоким генетическим потенциалом продуктивности.

Новизна исследований подтверждена патентом на изобретение «Способ оценки генетического потенциала овец породы маньчский меринос на основе молекулярно-генетических маркеров» (RU № 2776044).

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные результаты исследований являются практической основой для дальнейшего развития и внедрения маркер-ассоциированной селекции по генам гормона роста, кальпастина и дифференциального фактора роста в отечественное овцеводство. Исследование связи полиморфизма генов с хозяйственно ценными признаками имеет высокую практическую роль, базирующуюся на решении ряда прикладных задач селекции. В процессе исследования получены новые данные о полиморфизме генов *GH*, *CAST* и *GDF9* и связи их аллельных вариантов с фенотипическими признаками.

Наличие информации об ассоциациях генотипов рассмотренных полиморфизмов генов *GH*, *CAST* и *GDF9* с селекционно-значимыми признаками овец, предоставит возможность выявлять носителей генетических маркеров мясной и шёрстной продуктивности, что позволит проводить отбор животных с высоким генетическим потенциалом продуктивности для дальнейшего использования в селекции.

Результаты исследований дополняют и расширяют теоретическую базу знаний о генетических факторах, ассоциированных с продуктивностью овец, и свидетельствуют о целесообразности их использования в качестве ДНК-маркеров в селекционной работе с овцами породы маньчский меринос.

Полученные данные могут быть использованы в последующих научных исследованиях, нацеленных на повышение эффективности селекционно-племенной работы в овцеводстве, а также в учебном процессе в качестве лекционного материала по генетике, селекции и разведению овец в высших

учебных заведениях при подготовке специалистов зооветеринарного и биологического профиля.

Методология и методика исследования. При проведении исследований были использованы научные работы из области зоотехнии и молекулярной биологии как отечественных, так и зарубежных ученых. Весь процесс исследований включал в себя использование общих методов научного познания, таких как опыт, сопоставление и обобщение экспериментальных данных, а также специальные методы, такие как зоотехнические, молекулярно-генетические, биохимические и гистологические. Полученный материал был обработан с применением расчетно-статистических методов исследования.

Основные положения, выносимые на защиту:

– гены *GH*, *CAST* и *GDF9*, контролирующие хозяйственно ценные признаки продуктивности у овец породы маньчский меринос, полиморфны;

– полиморфизмы с. 255 G>A в гене *GH*, с.767+200G>A в гене *CAST*, и с.397G>A в гене *GDF9* ассоциативны с количественными и качественными характеристиками мясной продуктивности в популяции овец породы маньчский меринос;

– ассоциации генотипов в однонуклеотидном полиморфизме с. 255 G>A гена *GH* с показателями шерстной продуктивности ярок исследуемой популяции установлены;

– совершенствование продуктивных качеств овец породы маньчский меринос на основе генотипирования увеличивает экономическую эффективность производства продукции овцеводства.

Степень достоверности и апробация результатов. Важным аспектом данных исследований явилось применение биометрических методов обработки экспериментальных данных. Это позволило оценить степень достоверности различий между животными разных генотипов, выделяя те, которые обладают потенциалом для дальнейшего разведения. Для этого использовалось специальное программное обеспечение, такое как Microsoft Excel и BioStat (США). Результаты проведенных исследований внедрены в производственную деятельность СПК

колхоза-племзавода им. Ленина Апанасенковского района Ставропольского края и подтверждены актом о внедрении законченных научно-исследовательских разработок в сельскохозяйственное производство, а также используются в научно-исследовательской работе и в учебном процессе ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» в качестве дополнительного материала для самостоятельной работы студентов.

Работа выполнялась в соответствии с государственным планом НИР Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» согласно направлению фундаментальных и поисковых научных исследований 4.2.1. Зоотехния по теме «Разработать и усовершенствовать биотехнологические методы генетического контроля, воспроизводства и управления селекционным процессом при создании новых селекционных форм сельскохозяйственных животных» (№ госрегистрации FNMU-2022-0012).

Кроме того, часть исследований выполнена при финансовой поддержке программы УМНИК договор № 16026ГУ/2020 от 24.12.2020 г. По условиям договора проекта был получен патент на изобретение от 12.07.2022 г., государственный регистрационный номер 2776044.

Результаты исследований и основные материалы диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на ежегодных отчетах отдела генетики и биотехнологии, заседаниях ученого совета ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в 2021–2023 гг. (г. Ставрополь); на международных научно-практических конференциях «Биотехнология: взгляд в будущее» (г. Ставрополь, СтГМУ, 2022); «Инновационные технологии в сельском хозяйстве, ветеринарии и пищевой промышленности» (г. Ставрополь, СтГАУ, 2022); всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии в науке: управление качеством, метрологическое обеспечение, новые подходы и цифровизация производства в сфере АПК» (г. Саратов, Вавиловский университет, 2023).

Публикация результатов исследований. По основным результатам исследований, выполненных по теме диссертационной работы, опубликовано 8 научных работ, из них 4 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России: «Овцы, козы, шерстяное дело», «Животноводство и кормопроизводство», в том числе 2 статьи, входящие в RSCI: «Ветеринария и кормление», «Зоотехния». Новизна исследований подтверждена 1 патентом на изобретение.

Объем выполненной работы. Диссертационное исследование состоит из введения, обзора литературы, материала и методики исследований, результатов собственных исследований, заключения, включающего выводы и предложения производству, перспективы дальнейшей разработки темы, списка литературы. Материал изложен на 180 страницах машинописного текста, иллюстрирован 34 таблицами, 17 рисунками. Список использованной литературы включает 223 библиографических источника, в том числе 92 на иностранном языке.

Личный вклад соискателя. Научный материал, представленный в диссертации, отражает актуальное направление исследований, обоснованное и выбранное соискателем. В ходе работы автором при участии научного руководителя сформулирована цель и задачи исследований, разработана схема и методика исследований. Автором изучен широкий круг вопросов по рассматриваемой проблематике, а также осуществлен анализ научных трудов отечественных и зарубежных ученых, выполнен большой объем экспериментальной части научно-исследовательской работы, что позволило сформулировать объективные выводы и предложения производству. В диссертации автор осветил как теоретические, так и практические аспекты выбранной тематики исследования. овцеводства. Хорошее владение методами научного анализа, знание теоретических основ исследования, проявившихся в способности к анализу литературных источников по изучаемому вопросу, склонность к систематизации и обобщению материалов на высоком научном уровне, интерпретация полученных результатов, позволили автору успешно

завершить диссертационную работу и свидетельствует о личном его вкладе в зоотехническую науку в области овцеводства.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Современные аспекты развития тонкорунного овцеводства в России

Роль овцеводства в сельскохозяйственном производстве Российской Федерации, особенно в зонах традиционного разведения овец, чрезвычайно важна (Ю.А. Колосов и др., 2020). Эта отрасль обеспечивает мясом, шерстью и молоком, необходимыми для питания и других нужд населения, имеет большой потенциал, особенно в регионах с неблагоприятными климатическими условиями, где другие отрасли животноводства не могут быть эффективно развиты (М.И. Селионова, 2015). Постоянный мониторинг состояния овцеводческой отрасли, с использованием ключевых индикаторов, имеет первостепенное значение для разработки научно обоснованной стратегии ее дальнейшего развития. Особое внимание в мониторинге следует уделять основному фонду овцеводства – племенным ресурсам, поскольку от их качества и генетического потенциала напрямую зависит эффективность всей отрасли. (Ю.А. Колосов, А.С. Дегтярь и др., 2020). Кроме того, при определении перспектив развития российской отрасли овцеводства следует учитывать текущую ситуацию на внутренних и внешних рынках, а также спрос на овцеводческую продукцию и ее качество. Проведенный почти четверть века экономический опыт показывает необходимость четкого определения места овцеводства в агропромышленном комплексе страны и его роли в обеспечении продовольственной безопасности (М.И. Селионова, В.А. Багиров, 2014; В.Ф. Федоренко, Н.П. Мишуров и др., 2018; В. И. Комлацкий, И. Ф. Горлов и др. 2019).

Тонкорунное овцеводство в России имеет богатейшую историю. По инициативе императора Петра I, в Россию был осуществлен завоз первых тонкорунных мериносов. Это событие положило начало научному изучению овцеводства. Начались первые значимые шаги по разработке и улучшению отрасли

тонкорунного овцеводства в России. Император, стремясь к модернизации всех сфер жизни страны, в том числе и сельского хозяйства, инициировал внедрение передовых европейских методов и подходов, включая селекцию качественных пород овец для повышения стандартов производства шерсти (В. В. Абонеев и др., 2012; М.И. Селионова, 2015).

Тонкорунное овцеводство в России вначале создавалось на базе мелких разрозненных стад овец типа мазаевских и новокавказских мериносов, объединенных затем в крупные государственные хозяйства. Впоследствии для улучшения качества шерсти и создания собственной племенной базы в Россию были завезены около 150 тыс. овец, в том числе австралийские мериносы, американский рамбулье и другие (В.В. Абонеев, Л.Н. Скорых и др., 2011).

Несмотря на значительную поддержку со стороны государства, развитие овцеводства в России слишком медленное из-за убыточности или невысокой прибыльности производства овцеводческой продукции. Поэтому вопросы улучшения качества сельскохозяйственной продукции, ее конкурентоспособности и прибыльности для обеспечения продовольственной безопасности становятся все более важными и актуальными (М.И. Селионова, 2015, Ю.А. Колосов, А.С. Дегтярь, В.В. Абонеев и др., 2020).

Таким образом, разведение овец играет важную роль в сельском хозяйстве Российской Федерации, обеспечивая население продуктами питания и сырьем. В результате эволюции, селекции, миграций и мутаций сформировалось множество различных пород овец, адаптированных к разным условиям обитания и обладающих различными продуктивными качествами. (Л.Н. Скорых, И.О. Фомина и др., 2022).

Овцеводство России представляет собой специализированную отрасль животноводства с богатым генофондом, который насчитывает 48 пород овец из них 15 - тонкорунных, численность которых по состоянию на 31.12.2022 г. равнялась 1 млн 643,2 тыс. гол. (54,0 % от общего поголовья овец в сельскохозяйственных организациях). Наиболее многочисленными породами среди тонкорунных овец являются дагестанская горная, численность которых составляет 1055100 голов,

грозненская - 180400 голов, волгоградская – 106200 голов, советский меринос - 93600 голов. Потенциальные возможности мериносовых овец в России достигли неплохих результатов (живая масса баранов – 95 кг, овцематок – 51–53 кг при настриге чистой шерсти более 6,0 и 2,5 кг соответственно). (Г.И. Шичкин, Г.Ф. Сафина, Х.А. Амерханов и др., 2022).

На сегодняшний день поголовье овец в России составляет около 20 миллионов (В.А. Погодаев, Н.В. Сергеева, 2023). По данным Ежегодника по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации за 2022 год установлено, что в Северокавказском федеральном округе, в таких Републиках как Дагестан, Ингушетия, Кабардино-Балкарская, Карачаево-Черкесская, Северная Осетия-Алания, Чеченская, сюда же входит и Ставропольский край овцеводство претерпело увеличение численности поголовья овец в хозяйствах всех категорий с 4088,6 тыс.гол. в 2000 г. до 8082,3 тыс.гол в 2022 г (рисунок 1).

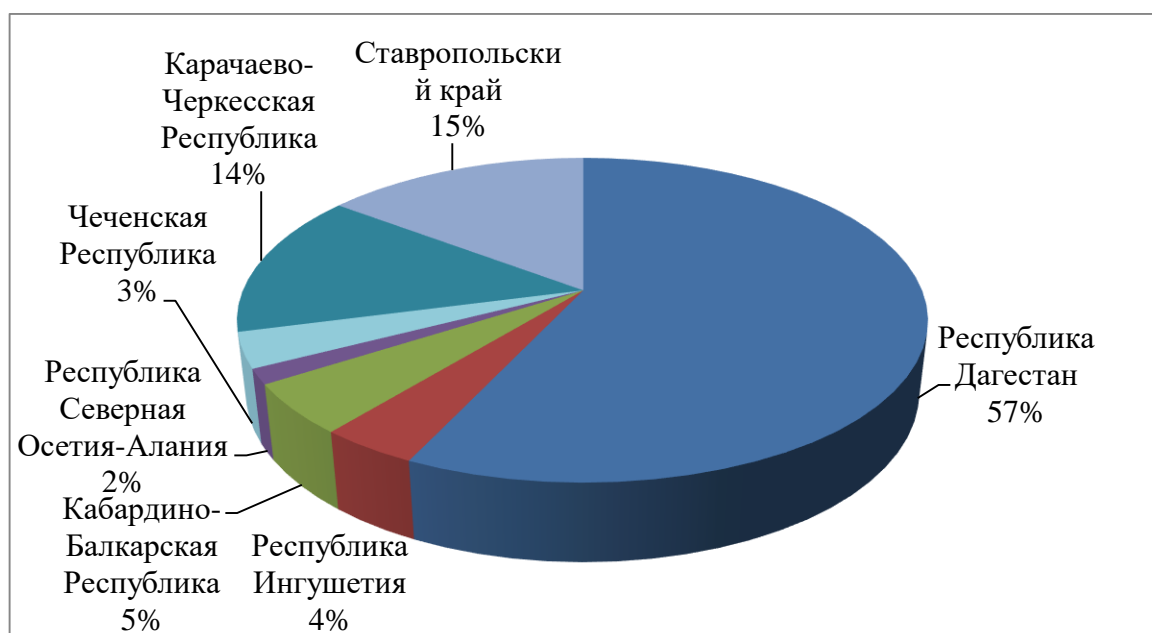


Рисунок 1 – Численность поголовья овец в отдельных субъектах Северо-Кавказского ФО в 2022 году

Одним из ведущих районов на Северном Кавказе, где развивается овцеводство, является Ставропольский край. Именно здесь находится основной центр племенных овцеводческих хозяйств в стране. В генофонде овцеводческой

отрасли этого региона преобладают тонкорунные породы овец, такие как ставропольская, советский меринос, манычский меринос, джалгинский меринос. Лучшие стада отличаются высокими показателями шерстной продуктивности, что свидетельствует о значительном генетическом потенциале племенных овец на Ставрополье. Потенциальные возможности овец породы манычский меринос достигли хороших результатов (живая масса баранов – 104 кг, овцематок – 52–53 кг при настриге чистой шерсти более 6,6 и 3,3 кг соответственно). (Л.Н. Скорых и др., 2020; Г.И. Шичкин, Г.Ф. Сафина, Х.А. Амерханов и др., 2022).

Стоит отметить, что Ставропольский край несмотря на возрастающий спрос рынка в ягнятине и молодой баранине высокого качества, продолжает развивать основное направление отрасли – тонкорунное, создавая стада и группы овец с улучшенными мясными формами и сохраняя при этом шерстные качества (Л.Н. Скорых и др., 2020).

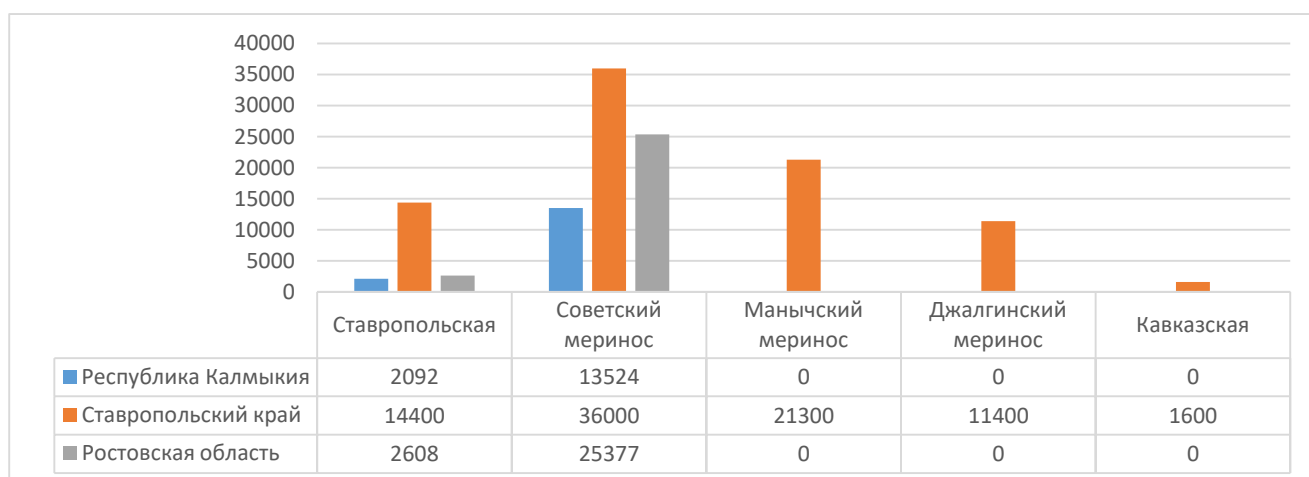


Рисунок 2 – Численность некоторых тонкорунных пород овец в отдельных регионах РФ в 2022 году

Ставропольский край часто упоминается как место, где преимущество составляет "золотое руно". Местное тонкорунное овцеводство является не просто ценным достоянием региона, но и предметом его особой гордости. Эта отрасль стала своеобразным золотым запасом для всей страны, соответственно благоприятной конъюнктурой рынка. Именно здесь возникли и были выведены такие известные тонкорунные породы овец, как ставропольская и кавказская, а

также манычский меринос. Они заслужили отличную репутацию и нашли широкое применение не только внутри страны, но и далеко за ее пределами. Состояние численности овец тонкорунного направления на 31.12.2022 г. в Ставропольском крае во всех категориях хозяйств – 84700 голов (рисунок 2).

Шерсть, как продукт используемый в текстильной промышленности, позволяет получать изделия, которые обладают прекрасными теплозащитными свойствами, крепостью, упругостью, эластичностью, способностью пропускать ультрафиолетовые лучи, отличной прядимостью и свойлачиваемостью (Ю.А. Колосов, А.С. Дегтярь и др., 2020). По данным заключительных ведомостей о результатах стрижки овец племенными хозяйствами Ставропольского края настрижено 469,6 тонн шерсти в физическом волокне или 70 % от производства шерсти в организациях края, выход чистой шерсти в среднем составлял 61,7 %. Средний настриг чистой шерсти с одной остриженной головы составил 3,4 кг. По данным Управления Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу В хозяйствах всех категорий края получено 63,5 тысяч ягнят, сохранность составила 90 %. В 2022 году племенными организациями Ставропольского края было реализовано 12600 овец, на сумму 69,6 млн. рублей (средний вес 1 овцы - 30,7 кг, средняя цена 1 кг/ж. м. - 179 руб.). Также Ставрополье стало вторым регионом в Российской Федерации по экспорту баранины, поставив более чем в 25 стран мясной продукции по данным ФЦ «Агроэкспорт» Министерства сельского хозяйства РФ на сумму свыше 106 млн. долларов.

Однако экономические приоритеты отрасли овцеводства изменились. Животные с комбинированным характером продуктивности стали более востребованными благодаря их более высокой конкурентоспособности и тем самым обеспечивают необходимый уровень эффективности разведения овец (Ю.А. Колосов, Н.Г. Чамурлиев и др., 2022). В связи с этим одной из задач подпрограммы по развитию овцеводства России является проведение работ по получению новых отечественных генотипов овец для использования в технологиях, в том числе на промышленной основе, для производства ягнятины, молодой баранины с высокими потребительскими качествами (Ю.А. Колосов и др., 2020).

В настоящее время перед учёными и животноводами-практиками нашей страны стоят важные и очень ответственные задачи – добиться быстрого прорыва в увеличении и улучшении производимой продукции, при более низкой её себестоимости (В.В. Абонеев, В.В. Марченко, Е.В. Абонеева, 2019). Необходимый уровень экономической эффективности овцеводства, как отрасли сельскохозяйственного производства в сложившихся условиях экономики бизнеса обеспечивается в решающей степени высокой мясной продуктивностью овец любых направлений продуктивности (А.М. Абдулмуслимов, 2021). Но если овцы комбинированной и мясной продуктивности всегда подвергались селекции с учетом этого баланса видов продуктивности, то мериносовые породы овец совершенствовались по иным селекционным программам, в которых приоритетом являлась шерстная продуктивность. В настоящее время доля этого компонента, хотя и значительно снизилось в формировании доходности отрасли, но уровень смещения этого баланса должен предполагать не полную утрату достигнутого результата в ходе реализации предыдущих программ селекции, но предполагает возможность быстрого восстановления шерстных качеств при изменении конъюнктуры рынка (В.В. Абонеев, Н.Г. Чамурлиев и др., 2018). Но невозможно недооценивать роль мериносовых овец в производстве баранины. Несмотря на то, что овцы мериносовых пород не относятся к мясным, их туши соответствуют требованиям рынка. Исторически сложилось, что основной массив поголовья овец в России представлен тонкорунными породами и именно они являются основным источником баранины (О.А. Яцык, 2017).

На протяжении многих лет российские ученые-овцеводы активно работают над повышением качества и увеличением производства овечьей продукции. Они уделяют особое внимание как количественным, так и качественным характеристикам производства баранины и шерсти. Чтобы сохранить и увеличить мясную продуктивность тонкорунных овец в Ставрополье, были разработаны разнообразные методы подбора животных с учетом их породы, возраста и веса матерей, основанные на комплексном научно-производственном опыте с использованием австралийских мериносов. Ученые провели серию экспериментов

для оценки потенциала мясной продуктивности различных пород овец, которые встречаются как на Ставрополье, так и в других регионах России. Исследования показали, что тонкорунные породы овец обладают значительно более высоким потенциалом мясной продуктивности по сравнению с северокавказской (мясо-шерстного направления), ташлинской и породой тексель (В.В. Абонеев, В.В. Марченко, Е.В. Абонеева, 2019). Определенный интерес в этом отношении представляет порода советский меринос, как наиболее многочисленная и достаточно продуктивная тонкорунная порода шерстного и шерстно-мясного направления. В своих исследованиях ученые отмечают, что овцы породы маньчжурский меринос превосходят по мясным показателям требования, предъявляемые к овцам шерстного направления продуктивности. Также для повышения эффективности овцеводства за счет хорошей мясной продуктивности рекомендована порода джалгинский меринос (О.А. Яцык, 2017).

Поэтому в современных экономических условиях актуальной задачей является повышение показателей мясной продуктивности мериносовых овец, как наиболее многочисленной категории поголовья Российской Федерации (Х.А. Амерханов, В.И. Трухачев, М.И. Селионова, 2017).

Все продуктивные характеристики, представляющие экономический интерес, можно улучшить с использованием традиционных методик отбора (А.М. Яковенко и др., 2016; И.Г. Сердюков и др., 2016). Однако потенциальные изменения, которые могут быть достигнуты с помощью промышленных технологий и кормления, зависят от условий окружающей среды, особенно при экстенсивных способах выращивания (Т.Т. Глазко, 2008; Yu. A. Kolosov et al., 2019), в то время как генетическое улучшение признаков, способствующих производству продукции овцеводства, является постоянным, кумулятивным, рентабельным и устойчивым (F. Montossi et al., 2013; A.V. Usatov et al., 2014).

Решающим фактором в процессе перестройки мериносового овцеводства и ее адаптации к новым экономическим условиям является значительное улучшение уровня мясной продуктивности овец. Добиться этого можно на основе использования отечественных и импортных генетических ресурсов, новых методов

идентификации животных, позволяющих поднять селекцию на более высокий качественный уровень, ведения селекционной работы на клеточном и геномном уровне, привлечения информационных технологий (Ю.А. Колосов, А.И. Клименко, В.В. Абонеев, 2014). В основу системы генетического совершенствования пород сельскохозяйственных животных, наряду с селекцией по фенотипу, должны быть положены углубленная оценка генотипа, целенаправленный поиск удачных сочетаний пар и пород при спаривании (В.А. Погодаев, Е.С. Суржикова и др., 2023).

В настоящее время происходит объединение современных и традиционных методов селекции в работе, но этот процесс все еще находится на начальной стадии, так как имеющихся исследований недостаточно для полного объединения различных методов селекции. Традиционные методы успешно используются для улучшения экономически значимых показателей крупных сельскохозяйственных предприятий и ферм. Благодаря быстрому развитию теории и технологий молекулярной биологии, методы молекулярной генетики и геномной инженерии в сочетании с традиционными методами отбора с использованием маркеров позволяют находить наилучшие решения для проблем в селекционном процессе (В.А. Погодаев, Е.С. Суржикова и др., 2023).

Учитывая вышеизложенное, стоит отметить, что генетические ресурсы тонкорунного овцеводства остаются одними из немногих в отечественном животноводстве, резервы которых нуждаются в сохранении, рациональном использовании и дальнейшем совершенствовании. Определенная роль в этом процессе должна принадлежать молекулярно-генетическим методам, как наиболее точным средствам оценки и прогнозирования продуктивных качеств животных.

1.2. Характеристика и перспективы развития исследуемой породы овец манычский меринос

Одной из представителей группы тонкорунных пород, обладающих отличной шерстной продуктивностью и достаточно хорошими мясными качествами, являются овцы породы манычский меринос. Путем скрещивания баранов

австралийский меринос и овцематок ставропольской породы в период 1971-1993 годы в нашей стране была выведена новая порода - манычский меринос. По величине овцы новой породы средние и крупные: высота в холке у баранов 71-90 см, у маток – 61-78 см. Конституция сухая, крепкая. Голова лёгкая, с прямым профилем, у баранов, как правило, небольшая горбоносость. Бараны рогатые и комолые, овцематки в большинстве комолые. Руно штапельного строения, хорошей и очень хорошей плотности. Извитость шерсти равномерная, ясно выраженная по всей длине штапеля. Шерсть длинная, однородная, тонина 22-25 мкм для овцематок и 25-27 мкм для баранов. Цвет жиропота преимущественно белый. Выход чистой шерсти у баранов 58-65 %, у овцематок – 55-60 % (Б.Б. Траисов, А.М. Омбаев, А.И. Ерохин и др., 2015). Эти овцы прекрасно приспособлены к условиям засушливых регионов, а также к местным кормам. Новая порода превосходит австралийских мериносов по размерам туловища, объёму и качеству шерстного покрова.

В процессе выведения новой породы для обогащения её генофонда создавались генеалогические линии. В результате целенаправленной селекции в ведущих стадах созданы 4 заводские линии (Б.Б. Траисов, А.М. Омбаев, А.И. Ерохин и др., 2015). Однако наибольшее использование как в Ставропольском крае, так и за его пределами получили линии ЕМ – 815 и ЕМ – 214. Отличительной особенностью овец линии ЕМ-815 является более крупная величина, несколько огрубленная и более длинная шерсть, при одинаковой ее густоте, белом цвете жиропота, люстровом блеске, крупной и ярко выраженной извитости по сравнению с животными линии 214 (Л.Н. Скорых, 2013). В 2013 году утверждён новый заводской тип овец в породе манычский меринос под названием "восточно-манычский" (Б.Б. Траисов, А.М. Омбаев, А.И. Ерохин и др., 2015).

Изучив состояние племенных организаций по разведению овец породы манычский меринос, выявлено что данной задачей занимаются 1 селекционно-генетический центр (колхоз-племзавод «Маныч», Апанасенковского района, Ставропольского края), а также 2 племенных завода (колхоз-племзавод им. Ленина, СПК колхоз-племзавод «Россия», Апанасенковского района, Ставропольского

края), общая численность животных в которых составила 21300 голов (Департамент животноводства и племенного дела, 2022). Эти категории хозяйств оказывают положительное влияние на товарные стада путём планомерной поставки им племенного и улучшенного материала.

Линейное разведение позволяет создавать в стаде отдельные группы животных с некоторыми различиями в степени выраженности наиболее важных селекционируемых признаков. Возникновение новых линий (ВМ-176, ВМ-33 и я ВМ-22) в племенном заводе "Маныч" Апанасенковского района на Ставрополье обусловлено производственными потребностями и направлено на увеличение эффективности и прибыльности сектора тонкорунного овцеводства (В.В. Марченко, 2017).

Линия ВМ-176. Животные этой линии характеризуются высокой живой массой (у взрослых баранов она, в основном, достигает 115–125 кг, у овцематок 55–60 кг). Шерсть у них в основной массе типа «медиум» с тониной шерстяных волокон 20–22 мкм и характеризуется крупным, четко выраженным извитком шерстяных волокон, а также белым или светло-кремовым цветом жиропотовых включений (В.В. Марченко, 2017).

Линия ВМ-33. Животные данной линии характеризуются комолостью, высокой живой массой и отсутствием складчатости на коже баранов и овцематок, очень тонкой шерстью, в основной массе 19–21 мкм (В.В. Марченко, 2017).

Линия ВМ-22. Животные характеризуются пониженной складчатостью кожи, высокой живой массой (взрослые бараны достигают 120 кг; овцематки – 58 кг), супертонкой шерстью (не более 18–20 мкм), с четко выраженным мелким извитком шерстяных волокон и жиропотом белого цвета (В.В. Марченко, 2017).

Для дальнейшего совершенствования овец породы манычский меринос целесообразно проводить (помимо внутрилинейного) межлинейное или кросслинейное спаривание, тем самым создавая гетерозиготных потомков, превосходящих линейных сверстников по живой массе, настригу чистой шерсти и отдельным ее качествам (Е.Н. Чернобай, 2019).

При изучении мясной продуктивности ярок породы манычский меринос выявлено превосходство животных, полученных при линейном скрещивании родительской пары (овцематка ЕМ-214×баран ЕМ-815), в отличии от сверстниц ♀ЕМ-815×♂ЕМ-815 и ♀ЕМ-214×♂ЕМ-214 по массе туши – на 5,0 и 18,8 %, по убойной массе – на 5,2 и 18,8 % (Е.Н. Чернобай, О.Н. Онищенко, Н.И. Ефимова, 2022).

Созданная порода манычский меринос, её ведущие линии и кроссы достаточно широко используются в различных категориях хозяйств для совершенствования тонкорунных пород овец не только в Ставропольском крае, но и за его пределами (Л.Н. Скорых, 2013). Овцы породы манычский меринос характеризуются хорошими племенными достоинствами и обладают высокой наследственностью как при чистопородном разведении, так и при скрещивании. Животные указанной породы характеризуются отличной шёрстной продуктивностью, хорошими племенными достоинствами, высокой оплатой корма продукцией, что доказано многочисленными исследованиями, проведенными с овцами этой породы (В.В. Абонеев, Л.Н. Скорых, Д.В. Абонеев, 2011).

Порода овец манычский меринос, завезенная из Ставропольского края, хорошо адаптировалась к условиям Нижнего Поволжья. Бараны-производители с сортименами тонкой шерсти 64, 70, и иногда 80 качества очень ценятся на мировом рынке сбыта шерсти. Использовался манычский меринос для улучшения шерстных характеристик, разводимых районизируемых тонкорунных овец (Е.А. Лакота, 2022).

В результате скрещивания производителей породы манычский меринос с овцематками ставропольской породы, имеющих разную тонины шерсти, наблюдалось значительное улучшение качества шерсти и физико-химических параметров шерстяного волокна (Е. А. Лакота, 2016).

Е.Н. Чернобай и др. (2022) установили, что из пяти групп исследуемых ярок породы манычский меринос наиболее высокий настриг невымытой шерсти был у особей 4-ой группы, возраст которых составлял 5,5 лет. Высокий коэффициент

шерстности был характерен для овец первой 1 группы, чей возраст достигал полутора лет, на 1,8; 0,6; 0,6 и 2,6 % в отличие от представительниц 2, 3, 4 и 5 групп.

В исследованиях Н.И. Белик и др. (2023) было отмечено, что в целом, шерсть баранов в СПК колхозе-племзаводе им. Ленина и колхозе-племзаводе «Маньч» обладает примерно одинаковой средней тониной. Однако наблюдаются небольшие отличия в характере уравниности шерсти как по тонине в штапеле, так и по руно. Комфорт-фактор у этих баранов немного выше, чем у овец СПК колхоза-племзавода «Россия», на 1,05 и 1,24 % соответственно, при этом уравниность тонины по руно значительно выше. Например, разница между боком и ляжкой по тонине волокон у баранов СПК колхоза-племзавода им. Ленина и колхоза-племзавода «Маньч» составляет 0,61 и 0,55 мкм, в то время как в СПК колхозе-племзаводе «Россия» – 2,32 мкм.

При определении воспроизводительной способности маток породы маньчский меринос Ю.А. Колосовым, В.В. Абонеевым и др. (2022) установлено, что овцематки, которые осеменялись комолыми баранами, проявляли наивысшую плодовитость. Они давали потомство на 6,9 % больше от числа осемененных и на 7,4 % больше от числа обьягнвившихся. Кроме того, в период до отъема ягнят от матерей обе группы овцематок показывали хорошую сохранность. В возрасте от 4 до 12 месяцев молодняк 1 группы выделялся лучшей сохранностью на 2,2 %. Овцематки 1 группы с двойнями обладали молочностью, на 15,1 % превышавшей показатели овцематок с одиночными ягнятами, в то время как разница во 2 группе составила 16,0 % (Ю.А. Колосов, В.В. Абонеев и др., 2022).

В сравнительной характеристике двух пород, разводимых на территории Ставропольского края, Е.Ю. Телегина и др. (2018) установили, что существуют значительные различия в морфометрических показателях между овцами пород ММ (маньчский меринос) и СТ (ставропольская тонкорунная). Так, овцы породы ММ продемонстрировали превосходство по следующим параметрам: высота в холке, высота в крестце, ширина крестца, косая длина туловища, ширина груди, обхват груди, обхват пясти. Кроме того, овцы породы ММ отличались более высокой массой мышечной ткани и костей тела по сравнению с овцами породы СТ. Они

также превосходили их по дополнительным 18 морфометрическим показателям. Эти результаты свидетельствуют о том, что овцы породы ММ демонстрируют превосходство по целому ряду морфометрических показателей, что делает их перспективным выбором для селекционных программ по улучшению мясных качеств (Е.Ю. Телегина, А.Ю. Криворучко, О.А. Яцык, 2018).

Одним из подходов к решению этой задачи является использование методов маркер-ассоциированной и геномной селекции. Дополнение традиционных данных о породе и родословной животного молекулярно-генетической информацией позволяет повысить точность прогнозирования продуктивности животного независимо от возраста, а также на ранних стадиях развития, когда интересующие показатели продуктивности не проявляются (О.А. Яцык, 2018).

Так, О.А. Яцык и др. (2017) проведёны исследования по секвенированию гена миостатина у овец породы маньчский меринос, выявлена замена с.373+18G>T расположенная в 1 интроне, влияющая на мясную продуктивность овец (О.А. Яцык, Е.Ю. Телегина, 2017).

В результате исследований, осуществленных Е.Ю. Сафарян и О.А. Яцык (2019), выявлены 5 однонуклеотидных замены в генах *MyoD1* и *MSTN* у овец породы маньчский меринос, положительным образом оказывающих влияние на такие показатели, как предубойная живая масса, масса парной туши, абсолютная масса мякоти (Е.Ю. Сафарян, О.А. Яцык, 2019).

А.Ю. Криворучко, А.А. Лиховид и др. (2023) провели генотипирование баранов породы маньчский меринос при помощи ДНК-чипов с плотностью покрытия в 600 000 локусов генома. В результате работы установлен перечень однонуклеотидных полиморфизмов, благодаря которым станет доступным более точная оценка достоверности происхождения овец и их породная принадлежность.

Таким образом, племенная работа с овцами тонкорунной породы маньчский меринос должна быть направлена на увеличение и улучшение мясной продуктивности и повышение экономической эффективности отрасли. Основными этапами этой работы являются: зоотехнический учёт, сбор и анализ данных о продуктивности и других хозяйственно полезных признаках овец, позволяющие

отслеживать динамику стада и выявлять наиболее ценных особей. При проведении оценки шёрстной продуктивности в обязательном порядке учитывать следующие характеристики: выход шерсти, качество шерсти; мясных качеств – живую массу и убойный выход; воспроизводительных показателей – плодовитость, а также жизнеспособность ягнят. Совершенствование овец этой породы возможно благодаря использованию передовых технологий в области геномной селекции, направленной на закрепление и улучшение желательных признаков.

Племенная работа по разведению овец породы маньчжурский меринос поддерживается научно-исследовательскими институтами и селекционно-генетическими центрами. Они разрабатывают новые селекционные программы, изучают генетические особенности овец и предоставляют консультации племенным хозяйствам.

1.3. Методы молекулярной генетики в животноводстве

Изучение генетики и наследственности, являющихся областью быстрого развития во всем мире, включая Россию, претерпело существенные изменения за последние годы. Вклад российских учёных в генетические исследования в области сельского хозяйства, в том числе и животноводства, а также поддержку инноваций и новаторских прорывов был значительным.

Современные технологии в биологии и молекулярной генетике позволили идентифицировать гены и полиморфизмы, которые отвечают за улучшение функциональных признаков, важных для жизнедеятельности сельскохозяйственных животных (G. Smołucha, K. Piórkowska et al., 2020).

Внедрение новых инновационных подходов в овцеводство, в частности ДНК технологий, позволит определить гены-маркеры хозяйственно значимых признаков животных, таких как уровень мясной продуктивности, качественные показатели мяса, скорость роста молодняка и многие другие, использование которых в производстве могло бы качественно изменить традиционные технологии, применяемые в селекции, и значительно ускорить процесс создания

новых селекционных форм с заданными характеристиками продуктивности и качеством продукции (М.И. Селионова, Л.Н. Скорых и др., 2017; А. В. Суховеева, Л. Н. Скорых, 2022).

Геномная и маркер-ассоциированная селекции – основные методы селекции с использованием ДНК-маркеров.

С помощью геномной селекции заводчики могут определить животных с наиболее выгодными генетическими вариантами и использовать их в качестве родителей для будущих поколений. Этот подход позволяет снизить зависимость от фенотипических признаков, которые часто подвержены влиянию факторов окружающей среды. Путем отбора животных на основе их генетического потенциала селекционеры ускоряют генетический прогресс и достигают более предсказуемых результатов в разведении (Ю.А. Тузова, А.Р. Пудченко, 2024).

Для животноводства метод геномной селекции позволяет более точно и быстро, чем традиционные методы селекции, определить генетический потенциал животного, что влечет значительные экономические выгоды. Геномная селекция предоставляет новую возможность оценить генетический потенциал животных, создавая качественно новые линии и породы животных, увеличивая селекционную точность и надежность оценок племенной ценности животного (А.Ф. Шевхужев, В.А. Погодаев, Л.Н. Скорых., 2023).

Для достижения генетического улучшения популяций овец, крупного рогатого скота и других видов животных необходимо провести надежную оценку племенных и продуктивных характеристик баранов и быков-производителей, маточного поголовья, а также обеспечить высокую степень наследования желаемых генетических изменений. Для этого важно сократить время между поколениями животных и применить новейшие технологии модификации генома и ускоренного воспроизводства. Это поможет добиться наилучших результатов в выборе животных с желаемыми генетическими свойствами и повысить их наследуемость (С.А. Бурсаков, С.Н. Ковальчук, 2019).

Двумя известными методами в области биотехнологии являются редактирование генов и селекция с использованием маркеров.

Метод ПЦР-ПДРФ анализа является точным и наиболее доступным для выявления отдельных полиморфизмов, связанных с экономически важными признаками у различных видов продуктивных животных. В геноме овец с использованием ПЦР-ПДРФ были выявлены гены-маркеры хозяйственно ценных признаков, оказывающие значительное влияние на улучшение количественно-качественных индексов производительности и продуктивности (А.В. Суховеева, 2023).

Метод CRISPR/Cas9 внёс революцию в поколение трансгенных животных. Эта система продемонстрировала беспрецедентную эффективность и простоту использования, что приводит к сокращению времени и необходимых затрат для редактирования генома и позволяет производить животных с более обширными генетическими модификациями. Также было отмечено, что он применим к широкому спектру животных, от простейших до многоклеточных (E. Shrock, M. Güell, 2017). Система CRISPR/Cas9 представляет собой адаптивную иммунную систему, используемую бактериями для защиты от вторгающихся вирусов и плазмид посредством специфичного для последовательности расщепления этих чужеродных нуклеиновых кислот (Li M. Zhao, L. Page-McCaw, P. S. Chen, 2016). В отличие от ZFN или TALENs, которые требуют конструирования белка, нацеленного на определенный локус ДНК, CRISPR/Cas9 обходится гораздо простой задачей выстраивания sgRNA длиной 20 нуклеотидов, которая определяет сайт расщепления ДНК (Y. Gao, H. Ji et al., 2017).

Маркер-ассоциированная селекция (MAS) является одной из первых современных инструментов, позволяющая проводить высокоточный отбор потенциально ценных животных, учитывая их генетическое предрасположение (L.V. Kononova, E.A. Vasilev et al., 2021). Прогрессирование маркер-ассоциированной селекции у сельскохозяйственных животных неразрывно связано с изучением полиморфизма маркерных генов и поиском новых генов, ассоциированных с продуктивными показателями (М.И. Селионова, Л.Н. Скорых. И др., 2017; М.И. Селионова, Д.А. Ковалев, Л.Н. Скорых и др., 2019). По сравнению с фенотипическим отбором, технологии молекулярной ассоциации (MAS)

обладают высокой скоростью генетического роста и реакции. Это объясняется тем, что информация о последовательности генов не зависит от окружающей среды и может быть получена в раннем возрасте, что позволяет проводить ранний отбор животных (A. Grover, P. C. Sharma, 2016; M. Pothuraju, S. K. Mishra, et al., 2015). За рубежом определение экономической ценности и востребованности продуктов животноводства на рынке является стратегической оценкой для маркерных генов. Поэтому существенной частью национальных селекционных программ является повышение производительности животных иностранных пород (A. Kominakis, A. L. Hager-Theodorides et al., 2017; H. Wilkie, et al., 2017).

Секвенирование ДНК позволяет происследовать геномную информацию, которая влияет на важные признаки в сельском хозяйстве. Технологию секвенирования в целом можно разделить на три отдельных поколения. Технологии первого поколения, такие как секвенирование по Сэнгеру, характеризовались использованием прерывания цепи, сиквенс второго поколения, такие как Illumina, отличающиеся высокопроизводительными короткими считываниями, и третьего поколения, с высокопроизводительными длинными считываниями (J.M. Heather, B. Chain, 2016). Две технологии привели к секвенированию третьего поколения: Oxford Nanopore Technologies (ONT) и Pacific Biosciences (PacBio). Особенностью технологии секвенирования третьего поколения является то, что нативная ДНК секвенируется напрямую, без амплификации. Преимущество этого метода заключается в устранении нуклеотидных искажений и изменений в относительном количестве шаблонов ДНК, которые наблюдаются в некоторых данных короткого считывания последовательностей (J.M. Kebschull, A.M. Zador, 2015; H.J. Lamb, Hayes, et al., 2020).

На протяжении нескольких десятилетий после открытия метода секвенирования ДНК Фредериком Сэнгером, в науке сделан огромный прорыв. Стало возможным не только быстро и недорого секвенировать геномы, но и анализировать большие объемы генетических данных. Это привело к

существенному продвижению в области молекулярной и клеточной биологии (А. Г. Бородинов и др., 2020).

В настоящее время, благодаря быстро развивающимся методам молекулярной биологии, идентификация генных мутаций не является трудоемкой. Таким образом, на замену методам секвенирования по Сэнгеру и зонда TaqMan, которые по-прежнему являются дорогостоящими, Smołucha G. и др. (2020) предложили недорогой, быстрый и чувствительный метод плавления с высоким разрешением (HRM) для идентификации мутации *FesX⁰* у овец Олкуска. Анализ HRM - это метод, используемый для идентификации генетических мутаций в последовательностях нуклеиновых кислот. Этот метод основан на реакции ПЦР с присутствием флуоресцентного красителя, который связывается с двухцепочечной ДНК (dsDNA). Когда краситель не связывается с молекулами дезоксирибонуклеиновых кислот, он демонстрирует низкий уровень флуоресценции, и наоборот, при наличии связи с dsDNA - уровень флуоресценции значительно возрастает (G. Smołucha, K. Piórkowska et al., 2020).

GWAS (полногеномное исследование ассоциаций) — это метод, который позволяет определить связь однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) в геноме животных с хозяйственно-ценными признаками (J. Jiang, Y. Cao, 2021). Общегеномные ассоциативные исследования используются для скрининга всего генома на наличие генов-мишеней, которые коррелируют с фенотипическими признаками, с использованием однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) в качестве генетических маркеров. Данное исследование стало важным методом идентификации генов-кандидатов для обнаружения важных хозяйственных признаков у сельскохозяйственных животных. По сравнению с традиционным картированием локуса количественного признака (QTL), GWAS обладает большей способностью обнаруживать причинные мутации в меньшем генетическом диапазоне (N. Gao, Y. Chen et al., 2019). В последние годы GWAS были включены в программы генетического разведения таких животных, как свиньи, крупный рогатый скот, овцы и куры, и выявили множество генов или молекулярных

маркеров, которые могут регулировать важные экономические показатели (В. Li, L. Fang et al., 2019).

Анализ литературных источников указывает на то, что применение современных молекулярно-генетических методов способствует значительному прогрессу в животноводстве. Эти методы открывают новые возможности, позволяющие достичь повышения продуктивности животных и проводить отбор на основе генетических особенностей.

1.3.1. Использование молекулярно-генетических маркеров в селекции овец

Одной из актуальных задач в овцеводстве является совершенствование и рациональное использование имеющихся племенных ресурсов, что требует применения новых современных подходов для ее решения (М.Б. Улимбашев и др., 2018). Современные методы, основанные на использовании ДНК-технологий, позволяют ученым повысить точность и эффективность традиционной селекции путем применения молекулярных маркеров. В данный момент повышается интерес к генетическому улучшению экономически важных признаков у овец (А.И. Суров, Л.Н. Скорых, А.В. Суховеева и др., 2022).

Развивающиеся геномные подходы предоставляют беспрецедентные возможности для ускорения селекционного процесса, поскольку данные о наличии полиморфных изменений в геноме у овец, дают уникальную возможность проводить оптимизированную генетическую оценку, корректировать подбор и отбор животных, вносить изменения в существующие программы, связанные с селекцией животных. (М.И. Селионова, 2014;)

С развитием и использованием технологий генотипирования животных и методов идентификации генов было определено и аннотировано множество функциональных генов и генетических вариантов, связанных с экономически важными фенотипическими признаками, что дает возможность увеличения темпов генетического прироста животных. Количественные локусы хозяйственно-ценных признаков и исследование геномных ассоциаций играют важную роль в выявлении

генов-кандидатов и характеристике животных (Е.М. Ibeagha-Awemu et al., 2008; И.О. Фомина, 2021).

Поскольку значительное внимание уделяется селекции, направленной на улучшение параметров мясной продуктивности, то особую актуальность приобретает рассмотрение полиморфизма маркерных генов и генов-кандидатов, кодирующих гормоны, которые контролируют процессы роста, а также энергетического обмена (А.В. Суховеева, Л.Н. Скорых, 2021)

Гормон роста, соматотропин (*GH*) – один из важнейших регуляторов постнатального роста и различных метаболических процессов, таких как деление и рост клеток, образование хрящей и костей, а также увеличение костной, мышечной и висцеральной ткани (М.И. Селионова, Л.Н. Скорых и др., 2017; В.А. Погодаев и др., 2019; А.М. Абдулмуслимов и др., 2020).

Результаты исследований показали связь между локусом гена *GH*, массой тела и длиной хвоста у овец Авасси (М. Bayraktar, О. Shoshin, 2022). Результаты исследования на овцах породы тексель (2023) показали, что SNP был обнаружен в положении с.573 G>A, равновесие Харди-Вайнберга соблюдено. Частоты генотипов AA, AG и GG составили 0,24; 0,55; и 0,21. Частоты аллелей A и G равнялась 0,51 и 0,49. Выявлена связь между генетическим разнообразием гена *GH* и признаками роста, установлено, что большую масса тела, обхват груди, длина тела имели животные с AA генотипом (33,98 кг) ($p < 0,01$) (F.E. Wahyudi, T.E. Susilorini, S. Maylinda, 2023).

Ген *IGF2* (инсулиноподобный фактор роста 2) играет ключевую роль в определении откормочной и мясной продуктивности. Его полиморфизм обусловлен заменой нуклеотидов в 3 интроне. Исследования показали, что генотип QQ является наиболее предпочтительным, поскольку связан с лучшими показателями откорма и качества мяса (Л.В. Гетманцева, 2012).

Масса тела тесно связана с ростом мышечной, жировой и костной тканей. В исследовании Zhang W. И др. (2016) были идентифицированы гены-кандидаты, которые коррелировали с ростом и развитием этих тканей.

Ген *AADACL3* (арилацетамиддеацетилазы типа 3), расположенный на 12 хромосоме, связан с массой тела при рождении, участвует в жировом метаболизме.

Ген *VGF* (индуцируемый фактор роста нервов) находящийся на 24 хромосоме, имеет взаимосвязь с весом при отъёме (С. Jiang, W.J. Lin, et al., 2017). При этом нокаут гена *VGF* приводит к снижению массы тела, уменьшению жира *in vivo* (J.E. Lewis, J.M. Brameld, et al., 2017).

Ген *MEF2B* является членом специфичного для гладкой мускулатуры комплекса, который связывается с последовательностью-мишенью, богатой нуклеотидами аденина и тимина, и необходим для регуляции цепи миозина в гладкой мускулатуре (M. Bayraktar, M. Durmuş, M.B.S. Al-Shuhaib, 2023).

Ген *SERPINA12* (член семейства serpin 12), располагающийся на 18 хромосоме, отвечает за вес взрослого человека, тесно связан с распределением липидов в организме, и может служить маркером, отвечающим за развитие мышечной ткани у животных (J. Gajewska et al., 2020).

Ген *CAST* (кальпастатин) участвует в регуляции скорости роста скелетных мышц, а также является ценным молекулярным маркером для проведения селекции в мясном овцеводстве (M. Greguła-Kaniaa et al., 2019). Кальпастатин является ингибитором кальпаинов – Ca²⁺-зависимых цистеиновых протеиназ, играет ключевую роль в естественной тендеризации мышечных волокон после убоя (Л.Н. Скорых и др., 2020). Для животных необходима активная работа кальпастатина в мышцах для формирования мышечной массы. Однако, после забоя, низкая активность кальпастатина способствует получению постного мяса высокого качества (С.Р.Л. Valencia et al., 2022). Исследование взаимосвязи между уровнями экспрессии гена *CAST* и составом жирных кислот (ЖК) в длиннейшей мышце грудной клетки, а также выявление новых вариантов *CAST*, показало, что были обнаружены новые мутации: с.646G>C (G216R), с.1210C>T (R404C), с.1437G>A (479T) и с.2097C>T (699G), которые в свою очередь имели значительную корреляцию с жирнокислотным составом (X. Guo et al., 2023). Экспериментальный опыт, направленный на изучение взаимосвязи полиморфизма *CAST/T350C* гена *CAST* (А. Н. Salim, 2022) с мясной продуктивностью овец породы

Араби показал, что особи с ТТ генотипом достоверно ($P \leq 0,05$) превосходили по характеристикам мясности туш животных других генотипов.

Ген *DGAT1* (диацилглицерол О-ацилтрансферазы 1) - кодирует трансмембранный белок, играющий ключевую роль в метаболизме. Он катализирует превращение диацилглицерина и сложных эфиров жирных кислот ацильных производных кофермента А в триацилглицерин. *DGAT1* - это один из наиболее важных метаболических ферментов, регулирующих обмен жиров в организме. Обнаружена связь между локусом *DGAT1* и длиной хвоста у овец Авасси (М. Bayraktar, О. Shoshin, 2022).

Ген миостатина (*MSTN*) играет роль в регуляции роста и развития мышц животных. Его функция заключается не только в торможении роста мышечных клеток и снижении жировой массы, но также в важном влиянии на толщину жирового слоя на спине, живой массы при рождении и характеристики туши. Мутации, возникающие в гене *MSTN*, который является ключевым фактором для определения хозяйственных качеств, напрямую влияют на рост и развитие животных, а, следовательно, на качество животноводческой продукции (L. Cheng-Li et al., 2023). Однако, эксперимент, проведённый на китайских овцах породы Ху (R. Guo et al., 2023) при помощи системы С-CRISPR, основанной на использовании нескольких соседних sgRNAs, направленных на ключевой экзон, и использованной для редактирования гена миостатина, в результате которого 70 эмбрионам, которым вводили мРНК Cas9 и четыре sgRNA, нацеленных на 3 экзон *MSTN*, далее были перенесены 13 реципиентам. Из десяти ягнят, рожденных от пяти реципиентов после благоприятного исхода беременности, девять имели полное нокаутирование гена с различными мутациями. Эти овцы проявляли фенотип с двойной мускулатурой, что приводило к более высокой массе тела в возрасте 3 и 4 месяцев, заметному увеличению мышечной массы, четко видимым межмышечным бороздкам и гипертрофии мышц. В целом, это свидетельствует о успешности проведенного генетического эксперимента и может иметь важное значение для улучшения мясных параметров овец различных пород. Исследование, направленное на установление взаимосвязи полиморфизма *MSTN/T434C* гена

MSTN (А.Н. Salim, 2022) с мясной продуктивностью овец породы Араби показало, что особи с *CC* генотипом достоверно ($P \leq 0,05$) превосходили по характеристикам мясности туш животных других генотипов.

Ген каллипиги (*CLPG*), локализованный в 18 хромосоме у овец, является эффективным геном-кандидатом, при возникновении мутаций в котором приводили к гипертрофии мышц, способствуя увеличению мышечной массы (тазовые конечности и поясничная область) (R.J. Adrian et al., 2012). Заметный прирост мышечных волокон там, где экспрессируется ген *CLPG*, в основном вызван гипертрофией миофибрилл. Также отмечено, что мышцы с экспрессией данного гена имеют большой диаметр из-за быстросокращающихся окислительных гликолитических (FOG) мышц (единственное волокно, имеющее увеличенные пропорции и диаметр) (K. Murach et al., 2014).

Ген *CAPN1* (кальпаин) отвечает за синтез μ -кальпаина – фермента, который способен расщеплять миофибрильные белки. Это позволяет ему играть важную роль в целостности мышечных волокон. При этом он является протеолитическим, то есть способен разрушать белки в процессе их метаболизма. Таким образом, *CAPN1* является важным регулятором метаболизма белков в мышцах (С.М. Kemp et al., 2013). Исследование гена *CAPN1* у овец породы Санта-Инес позволило выявить аддитивные эффекты некоторых его вариантов на такие параметры, как живую массу при отъеме, высоту в холке, а также на ультразвуковые изображения области мышечного глазка и толщину жира (A.L. Machado et al., 2020).

Установлено что *ITLG* и *CADM2* рассматриваются как функциональные гены-кандидаты, связанные с размерами тела, а наличие полиморфизмов в генах *MCTP1* и *COL4A6* определяют такой показатель, как обхват груди у овец (J. Jiang, Y. Cao et al., 2021).

Установлено, что *FAM184B*, *NCAPG*, *MACF1*, *ANKRD44*, *DCAF16*, *FUK*, *LCORL* и *SYN3* также являются генами-кандидатами, влияющими на живую массу, развитие мышечной и костной тканей у альпийских мериносовых овец (C. Li, J. Li et al., 2023).

Ген субъединицы фактора транскрипции AP-1 (*FOSL2*) связан с массой тела при рождении и особенностями телосложения у новорожденных овец (L. Tao, X.Y. He et al., 2020). Ранее этот ген был связан с липидным обменом (C.D. Wrann, J. Eguchi et al., 2012), репродуктивными показателями овцематок-мериносов (Wu. Yangsheng, J. Lin et al., 2017).

Обнаружены некоторые гены-кандидаты, влияющие на длину туловища, а именно трансмембранный белок 117 (*TMEM117*), трансформирующий фактор роста бета-индуцированный (*TGFBI*) и клеточный хемотаксин-2 (*LECT2*) (L. Tao, X.Y. He et al., 2020).

В результате проведенного полногеномного поиска у овец Эсме были выявлены и предложены в качестве генов-кандидатов *ESRP1*, *LOC105613082*, *ZNF641*, *DUSP5*, *TEAD1*, *SMOX*, *PTPRT*, *RALYL*, *POM121C*, *PHIP*, *LOC101106051*, *ZIM3*, *PEG3*, *TRPC7*, *FBXL4*, *LOC105610397*, *LOC105616489* и *DNAAF2*. Некоторые из обнаруженных белков уже были аннотированы у человека, мышей и крупного рогатого скота. Наличие полиморфизмов способствовало большему приросту и развитию мышечной ткани (O. Yilmaz, M. Kizilaslan, Y. Arzik, et al., 2022).

Резистин является одним из наиболее важных адипоцитокинов в клетках млекопитающих из-за его участия в развитии инсулинорезистентности, ожирения и аутоиммунных заболеваний. Резистин кодируется геном *RETN* (расположен на хромосоме 5 у овец и охватывает общую длину 1315 п.н.), который преимущественно экспрессируется в жировых тканях. Мутации в этом гене были связаны с продуктивными признаками у животных (T.R.S. Aljubouri, M.B.S. Al-Shuhaib, 2023). Резистин может воздействовать на целевые участки инсулина, включая жир, печень и скелетные мышцы, одновременно снижая поглощение глюкозы тканями (Shi et al., 2019). Он также может влиять на транскрипцию ферментов, участвующих в передаче сигналов инсулина и метаболизме, оказывая влияние на регуляцию метаболизма глюкозы и липидов (Yu et al., 2021).

Размер помета зависит от различных факторов, таких как скорость овуляции, выживаемость плода, размер матки, условия окружающей среды, а также генетики

(F. Sánchez-Dávila et al., 2015). Однако основные факторы, влияющие на размер помета, также известные как основные компоненты признака, включают скорость овуляции, оплодотворение, выживание эмбриона и плода (M.J. Argente, 2016).

Было доказано, что полиморфизм g.160338382 T>C в гене фибриллин-1 (*FBNI*) ассоциирован с размером помёта у овец китайских пород Ху и черной Целе (Y. Gong, Q. Chen, X. He et al., 2023).

В различных исследованиях, проведенных S. S. Xu et al. (2018) на пяти породах овец с высокой плодовитостью, авторы идентифицировали разные наборы генов-кандидатов, связанных с размером помета: *BMP1B*, *FBNI*, *MMP2*, *GRIA2*, *SMAD1*, *CTNNB1*, *NCOA1*, *INHBB*, *NF1*, *FLT1*, *PTGS2*, *PLCB3*, *ESR1*, *GHR*, *ETS1*, *MMP15*, *FLII*.

Отмечено, что ген дифференциального фактора роста (*GDF9*) у овец, член семейства трансформирующих факторов роста (TGF-В) влияет на развитие примордиальных фолликулов и пролиферацию гранулезных клеток (A. Ahmadi et al., 2016). Дифференциальный фактор роста-9 (*GDF9*) является важнейшим регулятором фолликулогенеза и процессов созревания ооцитов (A.N. Named, 2020). Гены *BMP1B* (ген рецептора морфогенетического белка кости), *GDF9*, *BMP15* (костный морфогенетический белок 15), *LEPR* (рецептор лептина) и *B4GALNT2* (Бета-1,4 N ацетилгалактозаминилтрансфераза 2) также рассматриваются как ведущие гены-кандидаты, влияющие на репродуктивные признаки у овец. В исследованиях, проведенных на овцах монгольской породы, выявлено много новых мутаций, связанных с количеством рождённых ягнят, таких как g.46544883A>G в 3' нетранслируемой области (3' UTR), с.1040T>C (Phe347Ser) в экзоне 2, g.46547859C>T в промоторе *GDF9* (B. Tong et al., 2020) и g.46547645T>G в промоторе *GDF9* (Z. Cheng et al., 2021); с.1470G>T (490Thr) в экзоне 10 *BMP1B* (Y. Gao et al., 2021); g.509807863G>A в промоторе *BMP15* (Y. Wang et al., 2023); с.240C>T (80Asn) и с.279C>T (93Ser) в экзоне 2 *LEPR* (S. Ma et al., 2022); и g.25929637G>A, g.25929679T>C, g.25929819A>G и g.25929965A>T варианты в интроне 7 *B4GALNT2* (Y. Gao et al., 2022).

Идентифицированы SNP в генах *PLCB4*, *RPTOR*, *GRIA2* и *PLCB1*, играющих роль в клеточной пролиферации, адгезии, тем самым отвечающие за фертильность, плодовитость и многоплодие, что является главными показателями репродуктивных функций у овец (M. Gholizadeh, S.M. Esmaeili-Fard, 2022).

Локализованный на 6 хромосоме ген рецептора морфогенетического белка кости (*BMPR-IB*) кодирует протеинкиназные рецепторы, играющие важную роль в фосфорилировании эндоплазматических веществ и взаимодействующие с генами морфогенетических белков кости. Этот ген может быть использован в качестве ДНК-маркера для ранней оценки продуктивности овцематок, и поэтому является одним из ключевых генов, на которые обращают внимание специалисты в сфере селекции животных (Н.В. Широкова, 2013).

Гормональный регулятор передней доли гипофиза - гипофизарный фактор транскрипции (*Pit -1* или *POU1F1*) - играет важную роль в активации генов гормона роста, пролактина и тиреотропного гормона. Он отвечает за регуляцию транскрипционных процессов и эффективно стимулирует их экспрессию. При этом, его воздействие на клетки гипофиза является ключевым фактором, обеспечивающим оптимальный баланс гормонов в организме (М.М. Aboelenin et al., 2022).

Гипофизарные гонадотропины образуют центр эндокринной оси, участвующей в репродуктивном процессе. В период полового созревания гипоталамический гонадотропин-рилизинг гормон (*GnRH*) стимулирует ткань гипофиза к синтезу ФСГ (Фолликулостимулирующий гормон) и ЛГ (Лютеинизирующий гормон). (А.Г. Максимов, Н.А. Максимов, 2021).

Женские половые гормоны, известные как эстрогены, играют важную роль в репродуктивной функции и здоровье костей. Они также повышают эластичность стенок сосудов. Рецептор эстрогенов (*ESR*) кодирует информацию о воздействии этих гормонов на организм. (Z.H. Dong et al., 2021).

Использование метода искусственного осеменения овец является важным репродуктивным инструментом в программах генетического разведения животных. Использование данного способа позволяет проводить тесты потомства

для прогнозирования предполагаемой племенной ценности. В связи с этим, проведено исследование, в котором было изучено влияние генов *SLC9C1*, *TSN*, *FUT10*, *DOCK2*, *CPLANE1*, *SPEF2*, *RAI14*, *LOC101110593* на подвижность сперматозоидов (M. Serrano et al., 2021).

Различные гены, связанные с развитием волосяных фолликулов, участвуют в определении типа кожи и развития волосяного покрова. Разнообразие этих генов может регулировать структуру и свойства шерстного покрова. Ген *KRT1.2* играет важную роль в качестве шерсти овец. У разных пород имеются свои особенности в уровне этого гена. У некоторых пород определенные аллели и генотипы преобладают, а у других – иные вариации (О.Л. Халина и др., 2023). Понимание роли гена *KRT1.2* поможет фермерам развивать эффективные стратегии в разведении овец и создавать продукты наивысшего качества. В работе Р.Ю. Сенина и др., (2018), посвященной изучению овец различных направлений продуктивности (черноземельный меринос, грозненская, эдильбаевская и кавказская), обнаружено, что аллель М является наиболее распространенной (0,88-0,91), а генотип *KRT1.2* ММ составляет от 0,76 до 0,84.

К числу этих генов относятся также *KAP* (кератин-ассоциированный белок) и *FST* (фоллистатин) (M. Gavran et al., 2021). Качество шерсти также связано с семейством генов кератина (*KAP6.1*, *KAP8.1*, *KAP8.2*, *KRTAP9-2* и *KAP16.4*), которые контролируют функцию шерсти и рост волосяных фолликулов (Ma et al., 2017; Gebreselassie et al., 2020). Исследования в этой области позволяют выявлять различия между породами и использовать их, чтобы улучшить качество шерсти овец.

В исследованиях Н. Zhao et al., (2021) были выявлены гены-кандидаты, *UBE2E3* и *RHPN2*, связанные с диаметром волокна, а также играющие важную роль в дифференцировке кератиноцитов и клеточной пролиферации.

При проведении GWAS выявлены гены, связанные с молочными и сыродельными качествами у овец молочных пород Ассаф и Чурра.

В связи с вышесказанным, анализируя теоретические и практические материалы научной литературы отечественных и зарубежных исследователей и

сравнив с решением поставленных в диссертационной работе задач, можем сделать заключение об актуальности выбора направления исследований. 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 породы манычский меринос.

2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Природно-климатические условия локализации исследуемой популяции овец

Экспериментальные исследования выполнялись на базе СПК колхоза-племзавода им. Ленина Апанасенковского района Ставропольского края в период 2020–2023 гг.

Природно-климатические условия на которой находится племенное хозяйство следующие: район расположен на севере Ставропольского края и граничит с республикой Калмыкия по реке Маныч, его территория занимает внушительные 3584 квадратных километра, представляющие собой уникальную природную зону с разнообразным ландшафтом. Административный центр района – это живописное село Дивное, которое является одним из крупнейших по численности населения в крае, где насчитывается более 15 тысяч жителей. Данное село граничит на севере и востоке с Республикой Калмыкия, на юге с Туркменским районом, а на западе с Ипатовским районом.

Рельеф Апанасенковского района характеризуется низменной равниной. Большая часть его территории расположена в пределах Кумо-Манычской впадины - крупного линейного понижения рельефа, известного как депрессия. Плоское дно впадины занято поймами и низкими террасами рек Маныча и Калауса, которые украшают множество озер и лиманов, несколько из которых превращены в водохранилища. Абсолютные высоты в пределах Кумо-Манычской впадины колеблются в пределах 15-30 метров над уровнем моря, что делает эту территорию самой низкой в Ставропольском крае, где береговые отметки озера Маныч достигают до 12 метров над уровнем моря.

Территория Апанасенковского района расположена в I агроклиматической крайне засушливой зоны Ставропольского края, где коэффициент увлажнения составляет 0,5-0,7. Ежегодно на данной территории выпадает от 325 до 400 мм осадков. Первые заморозки обычно наступают в период с 13 по 19 октября, а

последние можно ожидать в период с 15 по 19 апреля. Средняя температура в июле - самого теплого месяца, составляет $+24,2^{\circ}$, в то время как в январе - самом холодном месяце - она опускается до $-5,0^{\circ}$. Летние максимумы температуры могут достигать $+42^{\circ}$ - $+43^{\circ}$. Безморозный период длится в среднем 170-180 дней.

В зоне климата с малым количеством осадков и непромывным типом водного режима, почвы столкнулись с солонцеватостью из-за высокой минерализации грунтовых вод и недостатка увлажнения. В Приманычской впадине на дне балок распространились солончаки луговые, солонцы каштаново-луговые и засоленные луговые, из-за близости минерализованных грунтовых вод. В целом, почвы Апанасенковского района характеризуются невысоким содержанием гумуса, небольшой мощностью почвенного покрова, солонцеватостью, уплотнением и довольно тяжелым механическим составом.

Район знаменит благодаря высококачественному тонкорунному овцеводству. Благодаря успешной реализации государственных программ по техническому, селекционному и кадровому обеспечению были достигнуты значительные результаты в данной области. На базе ведущего колхоза-племзавода им. Ленина в 1993 г. была создана новая порода овец – манычский меринос. Эти животные являются красой и гордостью ставропольских селекционеров. Манычский меринос сочетает в себе не только хорошую приспособляемость к экстремальным условиям содержания, но и высокое качество шерсти, не уступающее импортной.

В настоящее время коллектив хозяйства решает сложные задачи, направленные на улучшение племенного дела, повышение производительности кормов и решение других стратегических вопросов. Активное участие в сотрудничестве по достижению этих целей принимают ставропольские ученые из Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства.

Общая площадь сельхозугодий хозяйства составляет 25 000 га. Основной вид деятельности СПК КПЗ им. Ленина – племенное овцеводство, но кроме этого также охвачены отрасль производства и переработки животноводческой, растениеводческой продукции, оптовая и розничная торговля продуктами питания, полученными в результате собственного выращивания.

Численность овец на конец 2022 года составила 4624 головы, в том числе 2900 маток. На начало года получено 80 % ягнят к общему числу овцематок, отбито 78 %. Настриг чистой шерсти с 1 головы был получен в количестве 2,5 кг.

Объектом исследования являлся молодняк овец породы манычский меринос, численностью 211 голов, в том числе ярок 91 голова, баранчиков – 120 голов. Все исследуемые особи были одного года рождения и находились в аналогичных условиях кормления и содержания.

Отъем ягнят в условиях хозяйства проводился традиционно в возрасте 4 месяцев. В пастбищный период (весна-лето-осень) овцы содержались на естественных и искусственных сеяных пастбищах. Рацион баранчиков в период от 6 до 8 месяцев включал следующий набор кормов: злаково-бобовое сено – 1,2 кг, концентраты (в виде смеси ячменя, овса, пшеницы) - 0,5 кг, содержащий 1,38 ЭКЕ, 136 г переваримого протеина, что соответствовало нормам кормления. Рацион ярок в стойловый период включал следующий набор кормов: злаково-бобовое сено – 0,8 кг, концентраты (в виде смеси ячменя, овса, пшеницы) - 0,4 кг, содержащий 1,1 ЭКЕ, 110 г переваримого протеина, что соответствовало нормам кормления.

Все животные были клинически здоровы. Условия содержания исследуемого поголовья в период выращивания соответствовали зоотехническим нормам и зоогигиеническим требованиям к животноводческим помещениям.

Общие направления исследований представлены на рисунке 3.

ОБЩАЯ СХЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ



Рисунок 3 – Общие направления исследований

2.2. Методики генотипирования и биохимических исследований

Молекулярно-генетические исследования выполнялись в лицензированной лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» (Свидетельство ПЖ 77 № 010734 от 03.04.2023 г.). В качестве биологического материала использовались образцы венозной крови. Отбор генетического материала проводили у молодняка овец в возрасте двух с половиной месяцев, численностью 211 голов (ярки: n=91, баранчики: n=120). Из яремной вены, находящейся в верхней трети шеи, в утренние часы до кормления, с использованием вакуумной системы S-Monovette с антикоагулянтом (K2 ЭДТА) и стерильной иглы, с соблюдением ветеринарно-санитарных норм отбирали по 4,5 мл крови. Каждая пробирка была пронумерована в соответствии с индивидуальным номером животного. При этом соблюдались условия хранения и транспортировки вакуумных пробирок (оптимальная температура составляет +5 С° - +25 С°, их необходимо беречь от попадания солнечных лучей). Хранение цельной крови происходило в холодильной камере в течении 1 суток.

Для выделения ДНК из отобранных образцов крови использовался набор реагентов «DIAtom™ DNA Prep» (ООО «Изогенлаб», Россия). Объем выделенной ДНК составил 3-5мкг/100мкл. Для проведения полимеразной цепной реакции (ПЦР) использовались наборы «GenePakPCRCore» согласно с инструкцией производителя. Генотипирование молодняка овец выполнялось по трем генам, а именно гормона роста (*GH*), дифференциального фактора роста (*GDF9*), кальпастина (*CAST*). Посредством программируемого четырехканального термоциклера «Терцик» фирмы «ДНК-технология» (Россия) обеспечивалась амплификация фрагмента ДНК в объеме 20 мкл

реакционной смеси на основе следующих праймеров: *GH* (973 п.н.) – (F:5'- GGA-GGC-AGG-AAG-GGA-TGA-A - 3' и R: 5'- CCA-AGG-GAG-GGA-GAG -ACA-GA-3'); *GDF9* (462 п.н.) - (F:5'- GAA-GAC-TGG-TAT-GGG-GAA-ATG - 3' и R: 5'- CCA-ATC-TGC-TCC-TAC-ACA-CCT-3'); *CAST* (622 п.н.) – (F:5'-TGG-GGC-CCA-ATG-ACG-CCA-TCG-ATG - 3' и R: 5'- GGT-GGA-GCA-CTT-CTG-ATC-ACC-3'). Условия проведения амплификации представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия проведения амплификации для генов *GH*, *CAST*, *GDF9*

Ген	<i>GH</i>			<i>CAST</i>			<i>GDF9</i>		
	Т° С	Время	Число циклов	Т° С	Время	Число циклов	Т° С	Время	Число циклов
Денатурация	95	5 мин	1	95	4 мин	1	94	2 мин	1
Отжиг	95	45 сек	33	94	45 сек	35	94	30 сек	35
	60	45 сек		62	45 сек		63	40 сек	
	72	45 сек		72	45 сек		72	30 сек	
Элонгация	72	10 мин	1	72	7 мин	1	72	4 мин	1

Инкубация ампликонов проводилась в течении 16 часов при $t=37^{\circ}\text{C}$. Рестрикционный анализ полученных амплификатов, проводили при помощи эндонуклеаз рестрикции *HaeIII*, *MspI*, *BstNI*, согласно протоколу производителя (ООО «СибЭнзим», г. Новосибирск). После окончания электрофореза, длительность которого составила 40мин., в 2 - 4,0 % агарозном геле, окрашенным бромистым этидием, который поместили на фильтр трансиллюминатора, излучающего свет в ультрафиолетовом диапазоне производилась визуализация числа и длин фрагментов рестрикции. В качестве маркера молекулярных масс

применялся стандартный набор М 50 «GenePakDNAMarkers» (ООО «Изогенлаб», Россия).

Биохимические исследования проводились в лаборатории ветеринарной медицины ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Образцы крови у ярок отбирали из яремной вены в утренние часы до кормления в возрасте 4 и 14 месяцев в закрытые системы забора крови S-Monovette® производства SARSTEDT (Германия) с ускорителем свертывания крови – для биохимических исследований.

Биохимические исследования проведены на автоматическом биохимическом и иммуноферментном анализаторе Chem Well 2910 (США). Биохимические показатели крови: уровень общего белка, его фракционный состав; концентрация метаболитов белкового обмена (мочевина и креатинин); компоненты углеводно-липидного обмена (глюкоза, холестерин), активность трансаминаз (аспартатаминотрансфераза, аланинаминотрансфераза) изучались с помощью набора реагентов «Ольвекс» (Россия).

Показатели естественной резистентности (БАСК, ЛАСК) изучали в соответствии с методическими рекомендациями СНИИЖК (2013).

2.3. Оценка генетической структуры исследуемой популяции овец

Вычисления производили по формулам, изложенным в методике Л.В. Ольховской и др. (2007).

Частоту встречаемости генотипов определяли по формуле:

$$P = n/N,$$

где P – частота генотипа; n – количество особей, имеющих определенный генотип; N – общее число особей.

Частоту отдельных аллелей определяли по формуле:

$$q_A = (2n_{AA} + n_{AB})/2N,$$

$$q_B = (2n_{BB} + n_{AB})/2N, (2)$$

где q_A – частота аллеля А; q_B – частота аллеля В; N – общее число аллелей.

Основные характеристики генетической структуры исследованной популяции рассчитывали по формулам:

Наблюдаемая гетерозиготность (H_o)

$H_o = N/n$, где H_o – наблюдаемая гетерозиготность, N – число гетерозигот, n – объем выборки.

Ожидаемая гетерозиготность (H_e)

$H_e = 1-(p^2+q^2)$, где H_e – ожидаемая гетерозиготность, p – частота аллеля А, q – частота аллеля В.

Мера информационного полиморфизма (PIC)

$PIC = 1 - \sum(P_i)^2$, где PIC – мера информационного полиморфизма; P_i – частота встречаемости i-ой аллели.

Степень гомозиготности (C_a), %

$C_a = \sum p^2 * 100$, где C_a – коэффициент гомозиготности (%), p – частота данного аллеля.

Уровень полиморфности (N_a)

$N_a = 1/C_a$, где N_a – уровень полиморфности локуса; C_a – уровень гомозиготности в локусе.

Степень генетической изменчивости (V), %

$V = 1 - C_a / 1 - N/1 * 100$, где V – степень генетической изменчивости, N – количество обследованных животных, C_a – коэффициент гомозиготности.

Тест гетерозиготности (ТГ)

$ТГ = H_o - H_e$, где ТГ – тест гетерозиготности; H_o – наблюдаемая гетерозиготность; H_e – ожидаемая гетерозиготность

Индекс фиксации (F_{is})

$F_{is}=1 - (H_o/H_e)$, где F_{is} – индекс фиксации, H_o – наблюдаемая гетерозиготность; H_e – ожидаемая гетерозиготность.

Статистический анализ результатов исследований осуществляли в соответствии с методиками, предложенными Н.А. Плохинским (1970), Е.К. Меркурьевой (1970) с применением компьютерных программ BioStat, Microsoft Excel (США), на основании вычисления средних величин и их ошибки, числовые показатели учитывали методом критерия Стьюдента со следующим уровнем значимости: * – $p<0,05$; ** – $p<0,01$; *** – $p<0,001$.

2.4. Методы исследования продуктивных показателей

Особенности роста и развития, формирование мясной продуктивности животных оценивали путем динамики живой массы, среднесуточного прироста, промеров статей экстерьера, вычисления индексов телосложения, контрольного убоя, микроструктурного анализа мяса, морфологического, сортового состава мышечной ткани в соответствии с методиками исследований, рекомендованными СНИИЖК, ВНИИОК.

Динамику живой массы устанавливали по результатам индивидуального взвешивания молодняка овец в следующие возрастные периоды: при рождении, 2,5, 4, 6, 8, 14-месячном возрасте, на основании чего рассчитывался среднесуточный прирост.

Особенности телосложения оценивали путем измерения промеров в возрасте четырех месяцев (высота в крестце, высота в холке, косая длина туловища, ширина груди, глубина груди, обхват груди, обхват пясти). Для более детального анализа степени развития животных, на основании промеров статей экстерьера вычисляли индексы

телосложения: длинноногости, сбитости, грудной, растянутости, перерослости, массивности, костистости.

Оценку мясной продуктивности проводили посредством контрольного убоя исследуемого поголовья в возрасте 8 месяцев. В период проведения исследований использовалась «Методика оценки мясной продуктивности овец», разработанная СНИИЖК (2009). Убой трех животных с учетом генотипа проводили после 24-часового периода голодания. При проведении контрольного убоя производили отбор проб мяса с длиннейшей мышцы спины для выполнения гистологических исследований. В ходе исследования изучались следующие показатели: живая масса перед убоем, масса парной туши, масса внутреннего жира, убойная масса, убойный выход, сортовой и морфологический состав полутуш. Определялись интерьерные параметры - масса внутренних органов (печень, селезёнка, лёгкие с трахеей, сердце, почки) массы выделенной крови; площадь «мышечного глазка» (см²) – измерением на осветленной бумаге отпечатка среза длиннейшей мышцы спины между последним грудным и первым поясничным позвонками.

Оценка морфологического состава осуществлялась с учетом использования действующего ГОСТ Р - 52843-2007 «Овцы и козы для убоя. Баранина, ягнятина и козлятина в тушах» (2008). Определение сортовой принадлежности мяса выполнялось после проведения обвалки туш, анализа соотношения мякоти к костям и расчетом коэффициента мясности.

Согласно методическим указаниям «Способ гистологической оценки качественных показателей мясной продуктивности овец с учетом морфоструктуры тканей» ВНИИОК (2010) проводили гистологические исследования длиннейшей мышцы спины. После отбора образцов длиннейшей мышцы спины (на уровне 10–12 ребра охлажденной правой полутуши) каждую пробу этикетировали и фиксировали в 10% растворе нейтрального формалина. Впоследствии

выполнялось уплотнение с помощью заливки в желатин. Срезы (толщина 7–8 мкм) получали на замораживающем микротоме. Структурные компоненты мышечной ткани обнаруживали посредством применения методов окраски гематоксилином-эозином, соединительной ткани - по Ван-Гизону, жировой ткани - Суданом III. Гистологические результаты описывали и регистрировали при увеличении окуляра на $\times 10$, и объектива на $\times 4$, $\times 10$ и $\times 40$. Микрофотосъемку гистологических препаратов проводили с использованием фотокамеры Canon Power Shot A 460 IS. Фотосъемку микропрепаратов проводили с помощью цифровой камеры (видеоокуляр) Scopetek DCM510 для микроскопа. При исследовании установлены значения следующих показателей: количество мышечных волокон, диаметр мышечного волокна, соотношение мышечной и соединительной ткани.

Шерстную продуктивность оценивали на основании методики ВНИИОК (1991), учитывали настриг шерсти в оригинале, индивидуально у каждой исследуемой ярки в период проведения стрижки с точностью до 0,1 кг. В 14-месячном возрасте у ярок в зависимости от генотипа отобраны образцы шерсти для изучения выхода чистой шерсти, физико-технологических показателей (длина, тонины, прочность). Выход чистого волокна, выраженного в процентах, устанавливали путем промывки 20 г образцов шерсти (10 г с бока, 10 г со спины); настриг чистой шерсти вычисляли с учетом настрига шерсти в оригинале и выхода чистого волокна индивидуально у ярок разных генотипов. Естественная длина определялась с помощью миллиметровой линейки, с точностью до 0,5 см; тонины шерсти - лабораторно с помощью ланометра; прочность шерсти на разрыв с помощью динамометра с дозирующим зажимом. Уравненность учитывалась по лабораторным данным тонины шерсти с бочка и ляжки.

В период бонитировки от ярок каждого генотипа были отобраны образцы шерсти с 4 участков (спина, бок, ляжка и брюхо) для экспертно-зоотехнической оценки согласно методическим указаниям ВНИИОК (1991) и технологического регламента ВНИИОК (2019).

Экономическое обоснование выращивания молодняка овец породы маньчский меринос с разными генотипами определялось следующими критериями: живая масса, затраты на содержание животных, прибыль. Важным показателем прибыльности производства продукции является уровень рентабельности. Реализационная стоимость складывалась из фактически реализационных рыночных цен племенного молодняка, которые установились на момент проведения исследований. При расчете затрат на содержание одной головы животного руководствовались данными бухгалтерского учета и, поскольку, животные находились в одинаковых условиях содержания, то эта сумма не отличалась для всех групп по изучаемым генотипам.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Полиморфизм генов соматотропина (*GH*), кальпастатина (*CAST*), дифференциального фактора роста (*GDF9*) у овец породы маньчский меринос

В ходе проведенного исследования областей генов *GH*, *CAST*, *GDF9*, выравниванием на референсную последовательность (с помощью геномного браузера NCBI) выявлены 3 однонуклеотидные замены. Для описания SNP (Single Nucleotide Polymorphism, однонуклеотидный полиморфизм) использовали номенклатуру HGVS. Идентифицирована мутация, расположенная в кодирующей части экзона 3 гена *GH* в позиции 14849876 (Oar_rambouillet_v1.0 с. 255 G>A; rs397514071), а также замена в некодирующей части (12-13 интрон) гена *CAST* в позиции 102036502 (Oar_rambouillet_v1.0 с.767+200G>A, rs422618244). Так, SNP rs410123449, находящаяся в гене *GDF9*, приводит к замене кодона, кодирующего аминокислоту аргинин (Arg) на гистидин (His) (таблица 2). В соответствии с выявленными однонуклеотидными заменами, в гене *GH* нами принято следующее буквенное обозначение аллелей: аллель В является мутантным (генотип ВВ), А – референсным (диким, эталонный пример генома данного вида, в нашем случае у овец) (генотип АА). В гене *CAST* принято следующее буквенное обозначение аллелей: аллель N является мутантным (соответственно генотип NN), и дикий аллель М (генотип ММ). Ген *GDF9* имеет мутантный аллель А (соответственно генотип АА), и дикий аллель G (генотип GG). (А.И. Суров, Л.Н. Скорых, А.В. Суховеева Е.С. Суржикова, 2022; Л.Н. Скорых, А.В. Суховеева, А.В. Скокова Н.И. Ефимова, Л.В. Кононова, 2023).

Проведенное исследование позволило получить данные, имеющие глубокое теоретическое и практическое значение, что дополняет и расширяет имеющиеся сведения о полиморфизме генов *GH*, *CAST*, *GDF9*.

Таблица 2 - Идентификация выявленных однонуклеотидных полиморфизмов в генах *GH*, *CAST*, *GDF9*

Ген	Наименование SNP по номенклатуре HGVS	Идентификатор	Позиция (Oar_rambouillet_v1.0)	Аминокислотная замена
<i>GH</i>	c. 255 G>A	rs397514071	14849876 (3 экзон)	-
<i>CAST</i>	c.767+200G>A	rs422618244	102036502 (12-13 интрон)	-
<i>GDF9</i>	c.397G>A	rs410123449	46547268 (1 экзон)	p.Arg87His.

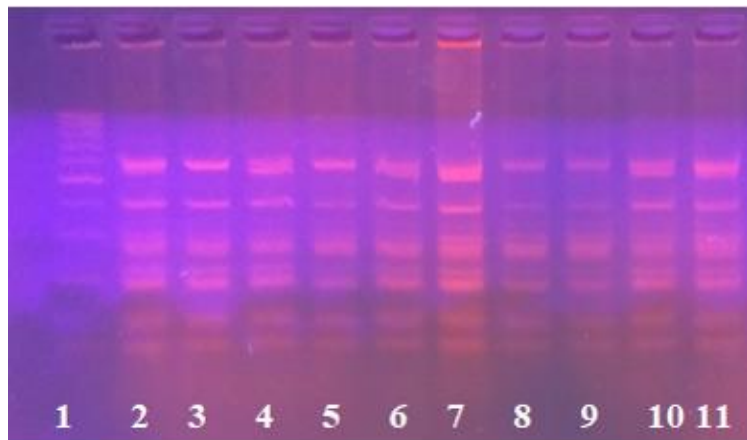


Рисунок 4 – Электрофореграмма результата ПЦР-ПДРФ гена гормона роста (*GH*) в 4,0 % агарозном геле

Примечания: 1 дорожка – ДНК-маркер 50 bp (IsoGeneLab);

2, 3, 5, 8, 9 – генотип AA (277; 202; 110; 100; 94; 68; 49; 22; 8 и 4 п.н);

4, 6, 7, 10, 11 – генотип АВ (277; 256; 202; 110; 100; 94; 68; 49; 22; 8 и 4 п.н);

7 – генотип ВВ (256; 202; 110; 100; 94; 68; 49; 22; 8 и 4 п.н).



Рис. 2. Электрофореграмма результата ПЦР-ПДРФ гена кальпастатина (*CAST*) в 1,8 % агарозном геле

Примечания: 1 – ДНК-маркер 50 bp (IsoGeneLab);

3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14 - генотип MM (336; 286 п.н.)

2, 12 - генотип MN (622; 336; 286 п.н.)

15 - генотип NN (622 п.н.)

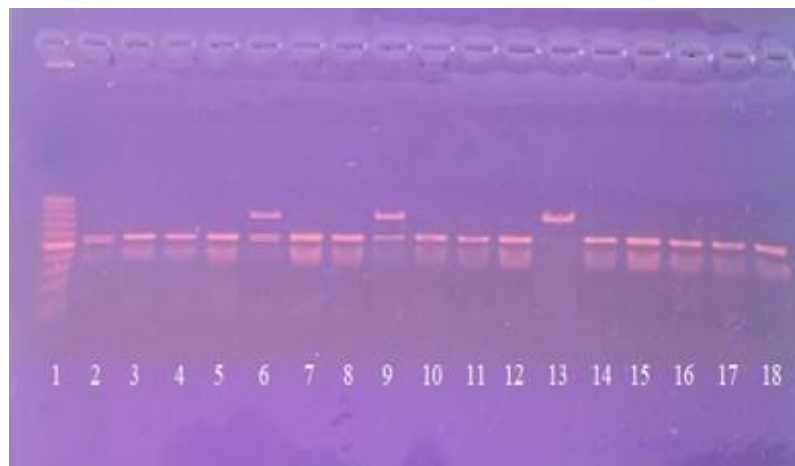


Рисунок 6 – Электрофореграмма результата ПЦР-ПДРФ гена дифференциального фактора роста (*GDF9*) в 2,0 % агарозном геле

Примечания: 1 дорожка – ДНК-маркер 50 bp (IsoGeneLab);

13 - генотип AA (462 п.н.)

6, 9 - генотип AG (462; 250; 220 п.н.)

2, 3, 4, 5, 7, 8 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18 - генотип GG (250; 220 п.н.)

В результате проведённых молекулярно-генетических исследований выявлено наличие полиморфизмов в локусах генов

гормона роста, кальпастина и дифференциального фактора роста в популяции овец породы маньчский меринос, представленного аллелями А и В для гена *GH*, аллелями М и N для гена *CAST*, аллелями А и G для гена *GDF9* (таблицы 3, 4).

Анализируя полиморфные варианты изучаемых нами генов у ярок можно отметить существенную разницу в частоте встречаемости аллелей А (0,75) и В (0,25) гена *GH*, М (0,86) и N (0,14) гена *CAST*, А (0,12) и G (0,88) гена *GDF9* (А.И. Суров, Л.Н. Скорых, А.В. Суховеева Е.С. Суржикова, 2022; Л.Н. Скорых, А.В. Суховеева Е. С. Суржикова, 2022). Среди баранчиков наблюдается аналогичная картина разницы в частоте встречаемости аллелей, которая распределилась следующим образом: А (0,76) и В (0,24) гена *GH*, М (0,8) и N (0,2) гена *CAST*, А (0,09) и G (0,91) гена *GDF9* (Л.Н. Скорых, А.В. Суховеева, А.В. Скокова Н.И. Ефимова, Л.В. Кононова, 2023).

Таблица 3 – Частота встречаемости аллелей и генотипов генов *GH*, *GDF9*, *CAST* у ярок породы маньчский меринос, (n=91)

Генотип				Аллель	
Частота встречаемости, %	<i>GH</i> ^{AA}	<i>GH</i> ^{AB}	<i>GH</i> ^{BB}	А	В
	59,4	30,7	9,9		
Количество животных, n	54	28	9	0,75	0,25
Частота встречаемости, %	<i>CAST</i> ^{MM}	<i>CAST</i> ^{MN}	<i>CAST</i> ^{NN}	М	N
	78,1	15,4	6,5		
Количество животных, n	71	14	6	0,86	0,14
Частота встречаемости, %	<i>GDF9</i> ^{AA}	<i>GDF9</i> ^{AG}	<i>GDF9</i> ^{GG}	А	G
	3,3	17,6	79,1		
Количество животных, n	3	16	72	0,12	0,88

Следующий этап исследований включал анализ распределения частот генотипов однонуклеотидных полиморфизмов в генах *GH*, *GDF9*,

CAST среди животных исследуемой популяции овец породы маньчский меринос.

Выявленная закономерность выразилась в распределении частот «дикого» гомозиготного, гетерозиготного и мутантного гомозиготного генотипов в наблюдаемых генах. Так, среди исследуемой группы ярок по гену *GH* наиболее часто встречался «дикий» гомозиготный AA генотип, составивший 59,4 %, особи с гетерозиготным AB генотипом распределились в средних значениях частот встречаемости (30,7 %), тогда как наименьшую частоту встречаемости имел мутантный» гомозиготный BB вариант – 9,9 %. Обнаруженная закономерность распределения частот генотипов по гену *GH* наблюдалась и среди исследуемой группы баранчиков и выразилась в следующем: AA – 61,6; AB – 29,2; BB – 9,2 %.

В исследуемом полиморфизме с.767+200G>A гена *CAST* наиболее часто встречался гомозиготный генотип MM (78,1 %), тогда как гетерозиготный вариант MN составил 15,4 %, в тоже время низкая встречаемость характерна для ярок генотипа NN – 6,5 % (А.В. Суховеева, 2022). Среди баранчиков большую частоту встречаемости также имел гомозиготный вариант MM в исследуемом полиморфизме гена *CAST*, который оказался на уровне 71,7 %. Распределение двух других генотипов проявилось следующим образом: реже встречающийся MN вариант 22,5 %, крайне редко NN – 5,8%.

Для исследуемой группы ярок по гену *GDF9* доминирующим оказался «дикий» гомозиготный генотип GG, частота которого составила 79,1 %, меньшую частоту встречаемости имел гетерозиготный AG генотип – 17,6 %, тогда как крайне редко встречался мутантный гомозиготный AA генотип (3,3 %) (А.В. Суховеева, Л.Н. Скорых, 2022). Для баранчиков частота встречаемости генотипов гена *GDF9* распределилась аналогичным образом: AA – 6,7; AG – 12,5; GG – 80,8 %.

Таблица 4 – Частота встречаемости аллелей и генотипов генов *GH*, *GDF9*, *CAST* у баранчиков породы маньчский меринос, (n=120)

Генотип				Аллель	
Частота встречаемости, %	<i>GH^{AA}</i>	<i>GH^{AB}</i>	<i>GH^{BB}</i>	А	В
	61,6	29,2	9,2		
Количество животных, n	74	35	11	0,76	0,24
Частота встречаемости, %	<i>CAST^{MM}</i>	<i>CAST^{MN}</i>	<i>CAST^{NN}</i>	М	N
	71,7	22,5	5,8		
Количество животных, n	86	27	7	0,8	0,2
Частота встречаемости, %	<i>GDF9^{AA}</i>	<i>GDF9^{AG}</i>	<i>GDF9^{GG}</i>	А	G
	6,7	12,5	80,8		
Количество животных, n	8	15	97	0,1	0,9

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что аллельные частоты и наличие трех генотипов по изученным полиморфизмам генов гормона роста, кальпастина, дифференциального фактора роста в исследуемой популяции овец породы маньчский меринос разнообразны и имеют особенности, связанные с тестируемой породой.

3.1.1. Генетическая структура исследуемой популяции овец

Молекулярные маркеры являются эффективным инструментом для характеристики и оценки внутривидового генетического разнообразия, поскольку предоставляют ценную информацию о наследственных признаках и генетической структуре популяций. Генетическое разнообразие может использоваться для различных целей, включая: идентификацию и дифференциацию породы, что поможет отличить различные породы животных и проследить их происхождение, провести оценку генетического разнообразия, позволяющую определить уровень генетической структуры внутри популяций, что

важно для сохранения биологической целостности. Исследование количественных признаков, в результате данных исследований позволяет идентифицировать генетические варианты, связанные с такими важными признаками, как рост и развитие (R. Khodabakhshzadeh et al., 2016; Н.С. Сафонова, 2022).

Таким образом, с развитием молекулярно-генетических методов и ДНК-технологий стало возможным оценивать не только фенотипические различия между породами и их структурными элементами, но и непосредственно генетические различия (дифференциацию). Последнее важно и необходимо знать для эффективного планирования разведения и селекции животных, в том числе овец имеющихся пород, а также сохранения исчезающих пород (В.М. Кузнецов, 2021).

Вышеизложенное послужило основанием к проведению генетико-статистического анализа в популяции овец породы маньчский меринос с использованием информации о частотах аллелей и генотипов генов *GH*, *CAST* и *GDF9*. Данные гены играют ключевую роль в регуляции роста, развития и метаболизма животных. Проведенный анализ позволит выявить и описать генетическое разнообразие исследуемой популяции овец, что даст ценную информацию о ее генетической структуре. Полученные результаты помогут в понимании генетического контроля важных признаков, влияющих на продуктивность овец. Они также могут быть использованы в программах племенного разведения для улучшения генетического потенциала и сохранения генетического разнообразия этой уникальной породы.

Для диплоидных особей самая распространённая мера генетической изменчивости – гетерозиготность. Частота гетерозигот является важным показателем, так как каждая гетерозиготная особь несет разные аллели и тем самым иллюстрирует наличие изменчивости (В.М. Кузнецов, 2014). Гетерозиготность (H) является одним из

основных параметров, применяемых при оценке информативности генетических маркеров. В соответствии с этим определением, в работе произведен расчет вышеобозначенного параметра, а также других сопутствующих величин.

Величина наблюдаемой гетерозиготности (H_{obs}) по локусам генов *GH*, *CAST* и *GDF9* составила 0,35; 0,19 и 0,15 соответственно. Значение ожидаемой гетерозиготности (H_{ex}), обладающей меньшей чувствительностью к размеру выборки по изучаемым локусам соответствовала следующим значениям 0,65; 0,81 и 0,85, что свидетельствует о дефиците гетерозигот в исследуемой популяции.

Для оценки генетического разнообразия используются такие критерии как степень гомозиготности (S_a) и уровень полиморфности локусов (N_a) (А.В. Суховеева, 2022). При этом степень гомозиготности популяции говорит о количестве эффективных аллелей, уровень полиморфности – величина, обратная степени гомозиготности. В наших исследованиях по локусу генов *GH* и *CAST* (таблица 5) степень гомозиготности характеризовалась средней, а по локусу гена *GDF9* – высокой величиной. При этом следует отметить, что степень гомозиготности по генам *GH*, *CAST* и *GDF9* распределилась в диапазоне 64,6 – 77,4 %, что связано с невысоким генным разнообразием. Обнаруженная закономерность дает основание полагать, что повышение ожидаемого значения S_a по исследуемой породе соответствует большему числу эффективных аллелей в генотипах. Из этого следует, что генетического разнообразия в изучаемой популяции нет. При этом наиболее высокий показатель уровня полиморфности N_a выявлен по локусу гена *GH* (1,5), среднее его значение по локусам генов *CAST* и *GDF9*, составившее 1,37 и 1,29.

Степень генетической изменчивости выражают через коэффициент V , зависящий от степени гомозиготности и количества обследованных животных. На основании проведенных нами расчетов по

степени генетической изменчивости (V) наблюдается следующая картина: более высоким показателем оказался по локусу гена *GH* – 39,3 %, против 30 и 25 % – по локусам генов *CAST* и *GDF9* (таблица 5).

Таблица 5 - Показатели генетической структуры исследуемой популяции овец породы маньчжунский меринос, (n=211)

Показатель	Ген		
	<i>GH</i>	<i>CAST</i>	<i>GDF9</i>
Количество гомозигот	148	170	180
Количество гетерозигот	63	41	31
Наблюдаемая (observed) гетерозиготность (H_{obs})	0,35	0,19	0,15
Ожидаемая (expected) гетерозиготность (H_{ex})	0,65	0,81	0,85
Индекс фиксации (F_{is})	+0,46	+0,77	+0,82
Степень гомозиготности (C_a), %	64,6	73,1	77,4
Уровень полиморфности (N_a)	1,5	1,37	1,29
Степень генетической изменчивости (V), %	39,3	30,0	25,0
Тест гетерозиготности (ТГ)	-0,4 Φ <Т	-0,62 Φ <Т	-0,7 Φ <Т
Мера информационного полиморфизма (PIC)	0,35	0,27	0,23

Тест гетерозиготности (ТГ) свидетельствует о недостатке или обеспеченности относительной гетерозиготности, полученной как разница между фактическими и теоретическими данными. Положительная величина ТГ указывает на превалирование фактической гетерозиготности над теоретической (И.О.Фоминова, 2022). Тест гетерозиготности показал, что животные анализируемой популяции отличаются недостатком гетерозигот как по гену *GH* (-0,4 Φ <Т), так и по генам *CAST* и *GDF9* – (-0,62 Φ <Т; -0,7 Φ <Т). Полученные результаты подтверждают и рассчитанный коэффициент эксцесса (F_{is}), свидетельствующий о недостатке или избытке фактически наблюдаемой гетерозиготности в сравнении с теоретической. Относительный дефицит

гетерозигот по изучаемым генам у исследуемой популяции видно также из данных по коэффициенту эксцесса (F_{is}). Отмечено отклонение наблюдаемой гетерозиготности от ожидаемой с правосторонним эксцессом (+0,46; +0,77; +0,82). Мера или величина информационного полиморфизма (PIC), как известно, определяется способностью генетического маркера устанавливать полиморфизм популяции в зависимости от числа, обнаруживаемых аллелей и распределения их частот. Лocus гена *GH* обладал средней полиморфностью, его величина составила 0,35, для локусов генов *CAST* и *GDF9* величина PIC находилась в низких значениях и составила 0,27 и 0,23 соответственно, что свидетельствует о низкой частоте встречаемости редких аллелей.

Генетико-статистическим анализом установлено разное селекционное значение маркеров, что отражено в мере информационного полиморфизма для генов *GH* (0,35), *CAST* (0,27) и *GDF9* (0,23).

Таким образом, анализ генетической структуры исследуемой популяции овец породы маньчский меринос по генам *GH*, *CAST* и *GDF9* свидетельствует о значительном дефиците гетерозигот.

Известно, что вид без достаточного генетического разнообразия не способен справиться с изменяющейся средой или эволюционирующими конкурентами. Следовательно, особенно важно, чтобы в популяции имелось достаточно генетических вариаций, позволяющих предоставить индивидууму лучшую продуктивную способность и повысить его частоту в популяции (R. Khodabakhshzadeh, M.R. Mohamadabadi et al., 2016).

Принимая во внимание вышесказанное, относительно генетико-статистического анализа по генам *GH*, *CAST* и *GDF9*, обосновывается наше предположение о наличии генетического потенциала для улучшения продуктивности у овец породы маньчский меринос.

3.2. Ассоциация полиморфизма в генах *GH*, *CAST* и *GDF9* с показателями роста овец породы маньчский меринос

3.2.1. Динамика живой массы молодняка овец исследуемой популяции

Поскольку гены *GH* и *GDF9* регулируют рост и развитие, а ген *CAST* отвечает за развитие мускулатуры, то, следовательно, от функциональности данных генов может зависеть и живая масса животных. Поэтому дальнейшие исследования были направлены на изучение связи рассматриваемых полиморфизмов с. 255 G>A в гене *GH*, с.767+200G>A в гене *CAST*, и с.397G>A в гене *GDF9* с признаками роста овец породы маньчский меринос.

В результате проведения исследований проанализирована взаимосвязь полиморфных вариантов генов *GH*, *CAST* и *GDF9* с интенсивностью роста молодняка овец. На основании проведенного эксперимента дана сравнительная характеристика протестированных животных (таблицы 6, 7). Результаты взвешивания исследуемых ярок с учётом полиморфизма гена *GH*, свидетельствуют о превосходстве носителей дикого гетерозиготного GH^{AB} генотипа по величине живой массы над молодняком GH^{AA} и GH^{BB} генотипов, составившем при рождении 13,7 ($p<0,01$) и 8,4 %. Однако в последующие возрастные периоды по величине живой массы наблюдается достоверное преимущество особей, несущих в гомозиготном и гетерозиготном состоянии аллель В мутантного типа над сверстницами GH^{AA} генотипа в возрасте 2,5 месяца на 11,5 ($p<0,05$) и 7,7 %; 4 месяца – на 7,6 ($p<0,05$) и 5,0 % (Л.Н. Скорых, А.В. Суховеева, А.В. Скокова Н.И. Ефимова, Л.В. Кононова, 2023).

Таблица 6 - Динамика живой массы ярок породы маньчжунский меринос различных генотипов по генам *GH*, *CAST* и *GDF9*, кг., (n=91)

Ген/ генотип	Возраст, мес.					
	при рождении	2,5	4	6	8	14
<i>GH</i>						
<i>GH^{AA}</i>	4,22± 0,15	15,87± 0,48	24,0± 0,56	28,0± 0,60***	35,0± 0,62	44,0± 0,77
<i>GH^{AB}</i>	4,80± 0,09**	17,69± 0,48*	25,83± 0,55*	31,2± 0,72**	38,4± 0,83**	47,5± 0,94**
<i>GH^{BB}</i>	4,43± 0,32	17,10± 0,36	25,2± 0,42	29,9± 0,75	37,1± 1,33	46,2± 1,50
<i>CAST</i>						
<i>CAST^{MM}</i>	4,30± 0,08	15,9± 0,42	23,43± 0,45	27,7± 0,47	35,2± 0,53	44,1± 0,65
<i>CAST^{MN}</i>	4,78± 0,07**	17,59± 0,45	25,72± 0,66*	32,0± 0,77***	40,6± 0,82***	49,9± 0,97***
<i>CAST^{NN}</i>	4,52± 0,30	17,38± 0,36	24,61± 1,10	30,8± 1,55	38,7± 1,60**	47,7± 1,70**
<i>GDF9</i>						
<i>GDF^{AA}</i>	4,73± 0,19	17,6± 1,67	24,78± 2,15	30,7± 2,25	40,4± 2,80	49,7± 3,25
<i>GDF^{AG}</i>	4,63± 0,09	16,8± 0,87	24,46± 0,95	28,9± 1,12	38,2± 1,29	45,3± 1,43
<i>GDF^{GG}</i>	4,33± 0,30	16,01± 0,40	23,3± 0,81	27,71± 0,85	35,2± 0,93	43,2± 1,02***

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Выявленная ассоциация генотипов *GH^{AB}* и *GH^{BB}* полиморфизма с. 255 G>A гена *GH* с величиной живой массы сохраняется и в возрасте 6 месяцев. Так, рассматривая живую массу у исследуемых животных в данный возрастной период установлено, что особи, несущие в гомозиготном и гетерозиготном состоянии аллель В гена *GH* превосходили особей, несущих в гомозиготном состоянии аллель А дикого типа на 11,4 и 6,8 % ($p < 0,001$; $p < 0,01$). Результаты измерения живой массы ярок в последующие возрастные периоды с учётом полиморфизма гена *GH* свидетельствуют, что для животных носителей гетерозиготного *GH^{AB}* и гомозиготного *GH^{BB}* генотипов характерна большее значение изучаемого признака в сравнении со сверстницами

гомозиготного AA генотипа в возрасте 8 месяцев – на 9,7 ($p < 0,01$) и 6,0 %, 14 месяцев – на 7,9 ($p < 0,01$) и 5,0 %.

Выявленная закономерность преимущества животных изученных генотипов гена *GH* проявилась и по величине среднесуточного прироста. Так, наибольшей энергией роста обладали ярки GH^{AB} и GH^{BB} генотипов, превосходящие особей GH^{AA} генотипа от рождения до 4 месяцев на 6,3 и 5,1 %.

После 4-месячного возраста произошло значительное снижение интенсивности роста за счет отъема ягнят от матерей и выхода на пастбище. Но, несмотря на это обстоятельство превосходство особей, несущих в гомозиготном и гетерозиготном состоянии аллель В над особями, несущими в гомозиготном состоянии аллель А по среднесуточному приросту сохраняется и в последующие возрастные периоды составляет: от 4 до 6 месяцев – 17,4 и 34,1 %, от 4 до 8 месяцев – 8,2 и 14,3 %, от 4 до 14 месяцев – 5,0 и 8,2 %.

В целом, анализ данных по среднесуточным приростам за период наблюдения от рождения до 14 месяцев у исследуемых животных в зависимости от генотипов гена *GH*, выявил преимущество ярок с генотипами GH^{AB} и GH^{BB} над животными генотипа GH^{AA} на 7,4 и 5,1 %.

Наличие у овец полиморфных вариантов гена *CAST* выявило преимущество ярок-носителей генотипа $CAST^{MN}$ над аналогами $CAST^{MM}$ и $CAST^{NN}$ по живой массе при рождении на 11,2 ($p < 0,01$) и 5,7 %. Однако, с 2,5-месячного возраста проявилось преимущество $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ генотипов по сравнению с обладательницами $CAST^{MM}$ генотипа, составившее 10,6 и 9,3 % (А.В. Суховеева, 2023). В последующие возрастные периоды выявленная закономерность у особей генотипов $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ над носителями генотипа $CAST^{MM}$ сохранилась: в 4 месяца 9,8 ($p < 0,01$) и 4,5 %, 6 месяцев – 15,5 ($p < 0,001$) и 11,2 %, 8 месяцев – 15,3 и 9,9 %, 14 месяцев – 13,9 и 8,2 % ($p < 0,001$; $p < 0,01$).

Кроме того, особи с гомозиготным $CAST^{NN}$ и гетерозиготным $CAST^{MN}$ генотипами характеризовались и большей величиной среднесуточных приростов в период от рождения до отъёма, превышая показатели животных $CAST^{MM}$ генотипа на 5,0 и 9,5 %. Выявленная закономерность между рассматриваемыми генотипами прослеживалась и в последующие возрастные периоды. Так, превосходство особей, имеющих в генотипе аллель N в сравнении с животными генотипа $CAST^{MM}$ по среднесуточному приросту в последующие возрастные периоды составило: от 4 до 6 месяцев – 31,0 и 32,0 %, от 4 до 8 месяцев – 19,6 и 26,4 %, от 4 до 14 месяцев – 11,7 и 16,9 %.

Рассматривая данные среднесуточного прироста за весь период наблюдений от рождения до 14 месяцев у исследуемых ярок в зависимости от генотипов гена $CAST$, выявлено преимущество особей с генотипами $CAST^{NN}$ и $CAST^{MN}$ над животными генотипа $CAST^{MM}$ на 8,4 и 13,3 %.

Анализ результатов динамики массы тела у исследуемых животных в зависимости от генотипов гена $GDF9$ свидетельствует, что наибольшей живой массой отличались ярки мутантного гомозиготного $GDF9^{AA}$ и дикого гетерозиготного $GDF9^{AG}$ генотипов, превосходство которых составило над обладательницами дикого гомозиготного $GDF9^{GG}$ генотипа при рождении на 9,2 и 6,9 %, в 2,5 месяца – на 9,9 и 4,9 %, 4 месяца – 6,4 и 5,0 %, 6 месяцев – 10,8 и 4,3 % (Л.Н. Скорых, А.В. Суховеева, А.В. Скокова Н.И. Ефимова, Л.В. Кононова, 2023). Выявленная ассоциация генотипов $GDF9^{AA}$ и $GDF9^{AG}$ полиморфизма с.397G>A гена $GDF9$ с величиной живой массы сохраняется и в последующие возрастные периоды. Так, по величине живой массы ярки-носительницы $GDF9^{AA}$ и $GDF9^{AG}$ генотипов превосходили животных гомозиготного $GDF9^{GG}$ варианта в возрасте 8 месяцев на 14,7 и 8,5 %, 14 месяцев – на 15,1 ($p < 0,001$) и 4,8 %.

Таблица 7 - Среднесуточный прирост ярок породы маньчжурский меринос различных генотипов по генам *GH*, *CAST*, *GDF9*, г., (n=91)

Показатель	Ген/генотип		
	<i>GH^{AA}</i>	<i>GH^{AB}</i>	<i>GH^{BB}</i>
От рождения до 2,5 месяцев	155,3±2,71	171,9±2,02	168,9±3,36
От 2,5 до 4 месяцев	180,7±7,6*	180,9±1,25	180,0±1,23
От рождения до 4 месяцев	164,83±3,87	175,25±3,89**	173,08±8,24
От 4 до 6 месяцев	66,7±3,93	89,5±2,76	78,3±2,99
От 4 до 8 месяцев	91,7±3,26	104,8±1,15**	99,2±3,73
От 4 до 14 месяцев	66,7±0,98	72,2±2,14	70,0±3,47
От рождения до 14 месяцев	94,7±0,32	101,7±1,02	99,5±1,92
	<i>CAST^{MM}</i>	<i>CAST^{MN}</i>	<i>CAST^{NN}</i>
От рождения до 2,5 месяцев	154,7±1,86	170,8±1,67	171,5±2,58
От 2,5 до 4 месяцев	167,3±3,14	180,7±2,85	160,7±2,35
От рождения до 4 месяцев	159,42±1,64	174,50±3,82	167,43±3,41
От 4 до 6 месяцев	71,2±2,92	104,7±3,84	103,2±3,16
От 4 до 8 месяцев	98,1±1,87	124,0±1,16	117,4±2,34
От 4 до 14 месяцев	68,9±3,16	80,6±2,46	77,0±1,02
От рождения до 14 месяцев	94,8±3,64	107,4±1,54	102,8±1,83
	<i>GDF9^{AA}</i>	<i>GDF9^{AG}</i>	<i>GDF9^{GG}</i>
От рождения до 2,5 месяцев	171,6±1,55	162,3±2,57	155,7±2,13
От 2,5 до 4 месяцев	159,6±3,31	170,2±3,92	162,0±3,72
От рождения до 4 месяцев	167,08±10,49*	165,33±6,0	158,08±3,16
От 4 до 6 месяцев	98,7±2,52	74,0±3,65	73,5±2,50
От 4 до 8 месяцев	130,2±1,68*	114,5±3,11	99,2±2,28
От 4 до 14 месяцев	83,1±3,41	69,5±1,47	66,3±2,35
От рождения до 14 месяцев	107,1±2,26	96,8±1,86	92,6±2,54

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Дальнейший анализ полученных данных подтверждает, что в период от рождения до отъёма наблюдается увеличение интенсивности роста ярок. Так, интенсивность роста особей с генотипами *GDF9^{AA}* и *GDF9^{AG}* была выше, чем у сверстниц *GDF9^{GG}* генотипа по величине среднесуточного прироста на 5,7 и 4,6 %. Обнаруженная ассоциация генотипов *GDF9^{AA}* и *GDF9^{AG}* рассматриваемого полиморфизма гена *GDF9* по среднесуточному приросту проявилась в период от 4 до 8 месяцев. Так, превосходство особей, имеющих в генотипе аллель А в сравнении с

животными генотипа $GDF9^{GG}$ по среднесуточному приросту составило 31,2 и 15,4 %.

В целом, рассматривая данные по среднесуточным приростам за период наблюдения от рождения до 14 месяцев у исследуемых животных в зависимости от генотипов гена $GDF9$, выявили преимущество ярок с генотипами $GDF9^{AA}$ и $GDF9^{AG}$ над животными генотипа $GDF9^{GG}$ на 15,6 и 4,5 %.

Среди баранчиков с учётом сочетаний генотипов генов GH , $CAST$ и $GDF9$ наблюдается аналогичная картина, то есть группа особей с генотипами GH^{AB} , GH^{BB} , $CAST^{MN}$, $CAST^{NN}$, GDF^{AA} , $GDF9^{AG}$, характеризовались лучшими показателями по живой массе и среднесуточными приростами (таблицы 8, 9).

Анализ данных об изменении массы тела в процессе постэмбрионального развития у животных с учётом генотипов гена GH свидетельствует о превосходстве особей, несущих в гомозиготном и гетерозиготном состоянии аллель В мутантного типа над сверстниками гомозиготного GH^{AA} генотипа по величине живой массы, составившей при рождении 19,1 ($p < 0,01$) и 16,5 %, в возрасте 2,5 месяца – 10,4 ($p < 0,05$) и 9,1 %, в 4 месяца – 10,1 и 8,1 % ($p < 0,05$; $p < 0,001$), в 6 месяцев – 12,6 и 9,2 % ($p < 0,001$; $p < 0,05$), в 8 месяцев – 9,9 и 7,6 % ($p < 0,001$; $p < 0,05$) (таблица 8).

Выявленное превосходство по величине живой массы среди баранчиков изученных генотипов гена GH сохранились и по значению среднесуточного прироста. Так, наибольшей энергией роста в период от рождения до 4 месяцев обладали баранчики-носители GH^{AB} и GH^{BB} генотипов, превосходящие сверстников дикого гомозиготного GH^{AA} генотипа на 7,7 и 5,9 %.

Таблица 8 - Динамика живой массы баранчиков породы маньчжурский меринос различных генотипов по генам *GH*, *CAST* и *GDF9*, кг., (n=120)

Ген/ генотип	Возраст, мес.				
	при рождении	2,5	4	6	8
<i>GH</i>					
<i>GH^{AA}</i>	5,50± 0,08	19,07± 0,30	25,70± 0,40*	30,0± 0,52	38,8± 0,56
<i>GH^{AB}</i>	6,55± 0,11**	21,05± 0,56	28,30± 0,66***	33,78± 0,76***	42,67± 0,84***
<i>GH^{BB}</i>	6,41± 0,11	20,8± 0,23*	27,8± 0,53	32,75± 0,70*	41,76± 0,76*
<i>CAST</i>					
<i>CAST^{MM}</i>	5,47± 0,08	19,10± 0,33	25,67± 0,47	29,7± 0,50	38,7± 0,76
<i>CAST^{MN}</i>	6,79± 0,14**	21,2± 0,52	28,0± 0,55**	34,8± 0,60***	42,1± 0,71*
<i>CAST^{NN}</i>	6,28± 0,11	20,44± 0,32	27,04± 0,55	32,3± 0,80	40,4± 0,83
<i>GDF9</i>					
<i>GDF^{AA}</i>	6,01± 0,21	21,21± 0,33	27,0± 0,76	31,7± 0,9	42,18± 0,97*
<i>GDF^{AG}</i>	5,80± 0,08	20,82± 0,49	26,83± 0,54	31,0± 0,80	40,28± 0,90
<i>GDF^{GG}</i>	5,64± 0,08	20,15± 0,28	25,49± 0,36	29,8± 0,42	38,0± 0,64

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Обнаруженная ассоциация *GH^{AB}* и *GH^{BB}* генотипов с среднесуточным приростом проявилась и в последующие возрастные периоды. Так, превосходство особей, имеющих в генотипе аллель В в сравнении с животными генотипа *GH^{AA}* по среднесуточному приросту составило в период от 4 до 6 месяцев 27,5 и 15,2 %, от 4 до 8 месяцев 9,7 и 6,5 %.

Дальнейший анализ полученных данных подтверждает, что выявленная ассоциация *GH^{AB}* и *GH^{BB}* генотипов с среднесуточным приростом сохраняется за весь период наблюдений от рождения до 8 месяцев.

Наши исследования о влиянии вариации гена гормона роста на интенсивность роста овец согласуются с результатами других ученых,

изучающих полиморфизм этого гена. Так, V. Iovenko et al. (2020) обнаружили, что при рождении живая масса ягнят асканийской породы, несущих генотип *AA* в гене *GH* составила 4,5 кг, а ягнят с гомозиготным генотипом *AB* – 4,9 кг.

Сравнительный анализ величины живой массы исследуемой группы баранчиков в зависимости от генотипа гена *CAST* при рождении выявил наибольшее значение изученного признака у особей генотипа *CAST^{MN}* над сверстниками генотипов *CAST^{MM}* и *CAST^{NN}*, составившее 24,1 ($p < 0,01$) и 8,1 %. Однако, с 2,5 – месячного возраста проявилось преимущество животных генотипов *CAST^{NN}* и *CAST^{MN}* по сравнению с особями генотипа *CAST^{MM}*, составившее 7,0 и 11,0 %.

Выявленная закономерность по живой массе между сравниваемыми генотипами гена *CAST* сохранилась и в возрасте 4 месяцев. Наибольшее увеличение живой массы в этот возрастной период отмечено у баранчиков *CAST^{NN}* и *CAST^{MN}* генотипов, которые превосходили особей *CAST^{MM}* генотипа на 5,3 и 9,1 % ($p < 0,01$), чему способствовали высокие среднесуточные приросты от рождения до 4 месяцев, составившие соответственно 173,0 и 176,75 г или 2,8 и 5,0 %.

Достоверные различия по живой массе между генотипами *CAST^{NN}*, *CAST^{MN}* и гомозиготным *CAST^{MM}* вариантом прослеживались и в другие возрастные периоды: в 6 месяцев – на 8,7 и 17,1 % ($p < 0,001$), в 8 месяцев – на 8,8 ($p < 0,05$) и 4,4 %.

За период от рождения до 8 месяцев наибольшим среднесуточным приростом отличались особи, имеющие в генотипе аллель *N* в сравнении с животными *CAST^{MM}* генотипа, превосходство которых составило 2,7 и 3,2 %.

Анализ данных об изменении массы тела у исследуемых животных с учетом сочетаний генотипов гена *GDF9* свидетельствует о превосходстве особей, несущих в гомозиготном состоянии аллель *A*

мутантного типа над сверстниками $GDF9^{AG}$ и $GDF9^{GG}$ генотипов по величине живой массы, составившей при рождении 3,6 и 6,5 %.

Таблица 9 - Среднесуточный прирост баранчиков породы манычский меринос различных генотипов по генам GH , $CAST$, $GDF9$, г., (n=120)

Показатель	Ген/генотип		
	GH^{AA}	GH^{AB}	GH^{BB}
От рождения до 2,5 месяцев	180,9±2,01	193,3±3,51	191,9±1,89
От 2,5 до 4 месяцев	147,3±1,44	161,1±2,80	155,6±1,77
От рождения до 4 месяцев	168,33±2,62	181,25±3,87**	178,25±7,84
От 4 до 6 месяцев	71,6±2,75	91,3±1,61	82,5±2,41
От 4 до 8 месяцев	109,2±2,31	119,75±3,15	116,3±2,29
От рождения до 8 месяцев	138,75±3,05	150,5±2,54*	147,3±2,55
	$CAST^{MM}$	$CAST^{MN}$	$CAST^{NN}$
От рождения до 2,5 месяцев	181,7±1,48	192,1±1,29	188,8±2,33
От 2,5 до 4 месяцев	146,0±3,87	151,1±3,21	146,7±2,52
От рождения до 4 месяцев	168,3±3,98	176,75±3,66	173,0±3,09
От 4 до 6 месяцев	67,2±2,73	113,3±1,12	87,7±2,61
От 4 до 8 месяцев	108,6±1,17	117,5±2,81*	111,3±1,91
От рождения до 8 месяцев	138,5±3,29	143,0±3,48	142,2±1,87
	$GDF9^{AA}$	$GDF9^{AG}$	$GDF9^{GG}$
От рождения до 2,5 месяцев	202,7±1,79	200,3±3,41	193,5±3,13
От 2,5 до 4 месяцев	128,7±1,61	133,6±3,88	118,7±3,99
От рождения до 4 месяцев	174,92±7,03	175,25±5,90	165,42±2,36
От 4 до 6 месяцев	78,3±1,75	69,5±2,93	71,8±5,1
От 4 до 8 месяцев	126,5±2,94**	112,1±1,12	104,25±3,14
От рождения до 8 месяцев	150,7±2,78**	143,7±3,19	134,8±2,16

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Однако в последующие возрастные периоды по изученному признаку установлено преимущество особей, несущих в гомозиготном и гетерозиготном состоянии аллель А мутантного типа по сравнению с баранчиками-носителями $GDF9^{GG}$ генотипа составившее в возрасте 2,5 месяца 5,3 и 3,3%, в 4 месяца - 5,9 и 5,2 %.

Выявленная ассоциация генотипов $GDF9^{AA}$ и $GDF9^{AG}$ с величиной живой массы до отъема проявилась и в последующие возрастные периоды после отъема ягнят от овцематок. Так, особи, несущие в гомозиготном и гетерозиготном состоянии аллель А гена $GDF9$

превосходили особей несущих в гомозиготном состоянии аллель G дикого типа в 6 месяцев на 6,4 и 4,0 %, в 8 месяцев – на 11,0 ($p < 0,05$) и 6,0 %.

Что касается взаимосвязи среднесуточных приростов у исследуемой группы баранчиков с различными полиморфными вариантами гена *GDF9*, то обращает на себя внимание их неоднозначность как по периодам выращивания, так и по сравниваемым генотипам (таблица 9). При этом наибольший прирост животных всех рассматриваемых генотипов отмечался в период от рождения до 2,5-месячного возраста. Однако выявлено, что особи, имеющие в генотипе аллель A превосходили животных *GDF9^{GG}* генотипа по среднесуточному приросту в данный возрастной период на 47,5 и 35,1 %.

Обнаруженная ассоциация генотипов *GDF9^{AA}* и *GDF9^{AG}* с среднесуточным приростом проявилась и в последующие возрастные периоды. Так, особи, несущие в гомозиготном и гетерозиготном состоянии аллель A гена *GDF9*, превосходили особей, несущих в гомозиготном состоянии аллель G дикого типа по среднесуточному приросту за весь период наблюдений от рождения до 8 месяцев на 11,8 и 6,6 %.

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить достоверные ассоциации генотипов однонуклеотидных полиморфизмов с. 255 G>A в гене *GH*, с.767+200G>A в гене *CAST*, и с.397G>A в гене *GDF9* с признаками роста в популяции овец породы маньчский меринос.

3.2.2. Экстерьерные особенности молодняка овец исследуемой популяции

В целом, видовые особенности животного являются важным аспектом его оценки и могут дать представление о его породных

характеристиках, продуктивности и приспособляемости к условиям содержания. Однако для полной оценки животного необходимо учитывать и другие факторы, такие как внешние особенности телосложения. Ввиду того, что в процессе роста животных наблюдаются изменения в телосложении, то оценке по экстерьерным особенностям и определению хозяйственной ценности их по внешнему виду уделяется существенное значение в племенных стадах. Поэтому по экстерьерным особенностям животных в определенной степени можно оценивать породные и продуктивные качества (Е.Н. Chernobai et al., 2021; Д.А. Кирьянов, 2015).

Вышеизложенное явилось основанием к выявлению взаимосвязи рассматриваемых полиморфизмов с. 255 G>A в гене *GH*, с.767+200G>A в гене *CAST*, и с.397G>A в гене *GDF9* с экстерьерными особенностями овец породы маньчский меринос в возрасте 4 месяцев.

При изучении отдельных статей тела таких как высота в холке и крестце, которые характеризуют интенсивность развития костей периферического скелета (таблица 10), у ярок с различными аллелями гена *GH* выявлено, что животные-носители гетерозиготного GH^{AB} и мутантного гомозиготного GH^{BB} генотипов превосходили сверстниц «дикого» гомозиготного GH^{AA} генотипа по изучаемым параметрам на 4,5 и 3,0; 4,8 и 3,5 %.

Анализ сопоставления промера высоты в холке у исследуемых ярок с различными генотипами полиморфизму гена *CAST* выявил, что носители генотипа $CAST^{MN}$ отличались большим значением изучаемого параметра на 6,6 и 6,4 %, чем сверстницы с генотипами $CAST^{MM}$ и $CAST^{NN}$. Кроме того, ярки, несущие гетерозиготный генотип $CAST^{MN}$, характеризовались большей высотой в крестце на 6,6 и 6,4 % по сравнению с особями, имеющими в гомозиготном состоянии аллели M и N в гене *CAST*.

Таблица 10 – Промеры, определяющие интенсивность развития костей периферического скелета у ярок породы манычский меринос с различными генотипами генов *GH*, *CAST* и *GDF9* (возраст 4 месяца), см., (n=91)

Ген/генотип	Промер			
	Высота в холке	Высота в крестце	Косая длина туловища	Обхват пясти
Ген <i>GH</i>				
<i>GH^{AA}</i>	53,1±0,4	54,6±0,6	52,2±0,4	8,1±0,06
<i>GH^{AB}</i>	55,5±0,6***	57,2±0,8**	55,1±0,6***	8,4±0,09***
<i>GH^{BB}</i>	54,7±1,1	56,5±1,7	53,5±1,0	8,2±0,2
Ген <i>CAST</i>				
<i>CAST^{MM}</i>	52,8±0,3	54,4±0,5	52,0±0,4	7,8±0,05
<i>CAST^{MN}</i>	56,1±1,0***	58,0±1,3***	55,3±0,8***	8,3±0,2***
<i>CAST^{NN}</i>	53,0±1,1	54,5±1,5	52,1±1,6	8,1±0,1
Ген <i>GDF9</i>				
<i>GDF9^{AA}</i>	55,0±2,9	56,7±2,6	54,3±2,3	8,0±0,3
<i>GDF9^{AG}</i>	52,9±1,1	54,7±1,1	52,0±0,7	7,9±0,2
<i>GDF9^{GG}</i>	52,6±0,3	54,3±0,5	51,8±0,4	7,7±0,05

Примечание: ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

В группе ярок в зависимости от полиморфизма гена *GDF9* выявлено следующее: наличие в геноме овец в гомозиготном состоянии аллеля А гена *GDF9* ассоциировано с большей величиной по высоте в холке на 4,0 и 4,6 %, высоте в крестце - на 3,7 и 4,4 %.

Выявлена ассоциация генотипов изучаемых полиморфизмов в генах *GH*, *CAST* и *GDF9* с промером косая длина туловища, определяющим развитие костей позвоночника у ярок исследуемой популяции.

При рассмотрении промера косая длина туловища в группе ярок с различными аллелями гена *GH* установлено, что особи с генотипом *GH^{AB}* характеризовались большим значением изучаемого признака на 5,6 и 3,0 %, по сравнению с овцами *GH^{AA}* и *GH^{BB}* вариантов. Сравнительным анализом данных промера косая длина туловища с учетом сочетаний генотипов гена *CAST* установлено, что ярочки *CAST^{MN}*

варианта превосходили по значению измеренного параметра носительниц $CAST^{MM}$ и $CAST^{NN}$ генотипов на 6,3 и 6,1 %. Ярки с генотипом $GDF9^{AA}$ в гене $GDF9$ отличались большим показателем промера косая длина туловища на 4,4 и 4,8 %, чем сверстницы генотипов $GDF9^{AG}$ и $GDF9^{GG}$.

Носительницы гетерозиготного генотипа GH^{AB} имели большую величину обхвата пясти на 3,7 и 2,4 %, чем сверстницы гомозиготных GH^{AA} и GH^{BB} генотипов. При этом, носительницы генотипов $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ характеризовались большим размером обхвата пясти на 6,3 и 3,8 %, в сравнении с животными гомозиготного $CAST^{MM}$ варианта. У овец, несущих генотип $GDF9^{GG}$ анализируемый показатель оказался меньше, чем у животных с генотипами $GDF9^{AA}$ и $GDF9^{AG}$ на 3,9 и 2,6 % соответственно.

Среди баранчиков с учётом сочетаний генотипов гена GH , выявленные различия по промерам высота в холке и в крестце сохраняются. Так, особи с генотипами GH^{AB} и GH^{BB} характеризовались большей высотой в холке на 4,4 и 3,0 %, в крестце – на 4,5 и 3,3 %, по сравнению с особями, имеющими генотип GH^{AA} (таблица 11). Рассматривая, измеряемые промеры среди группы баранчиков с учетом полиморфных вариантов гена $CAST$, можно отметить превосходство особей с гетерозиготным $CAST^{MN}$ генотипом над сверстниками гомозиготных $CAST^{MM}$ и $CAST^{NN}$ вариантов по высоте в холке на 6,1 и 5,8 %, в крестце – на 6,0 и 5,8 %. При анализе высотных промеров у баранчиков с различными генотипами гена $GDF9$ установлены определенные различия, свидетельствующие о преимуществе животных носителей генотипа $GDF9^{AA}$ над особями, имеющими генотипы $GDF9^{AG}$ и $GDF9^{GG}$ по высоте в холке на 2,5 и 2,9 %, в крестце – на 2,0 и 2,1 %.

Таблица 11 – Промеры, характеризующие интенсивность развития костей периферического скелета у баранчиков породы маньчжурский меринос с различными генотипами генов *GH*, *CAST* и *GDF9* (возраст 4 месяца), см., (n=120)

Генотип	Промер			
	Высота в холке	Высота в крестце	Косая длина туловища	Обхват пясти
Ген <i>GH</i>				
<i>GH^{AA}</i>	55,08±0,42	56,75±0,4	54,2±0,39	8,2±0,07
<i>GH^{AB}</i>	57,5±0,48***	59,3±0,46***	57,9±0,56***	8,5±0,1**
<i>GH^{BB}</i>	56,7±1,42	58,6±1,39	55,5±1,25	8,3±0,13
Ген <i>CAST</i>				
<i>CAST^{MM}</i>	54,85±0,4	56,6±0,4	55,1±0,3	7,9±0,07
<i>CAST^{MN}</i>	58,2±0,5***	60,0±0,6***	57,3±0,7***	8,4±0,1***
<i>CAST^{NN}</i>	55,0±0,6	56,7±0,6	55,5±1,14	8,24±0,3
Ген <i>GDF9</i>				
<i>GDF9^{AA}</i>	57,4±1,16	58,7±1,24	56,3±1,29	8,1±0,3
<i>GDF9^{AG}</i>	56,0±0,8	57,6±0,8	54,7±0,7	8,0±0,1
<i>GDF9^{GG}</i>	55,8±0,4	57,5±0,3	54,6±0,5	7,8±0,06

Примечание: ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Анализ сопоставления промера косая длина туловища у баранчиков с различными генотипами гена *GH* выявил, что носители генотипа *GH^{AB}* на 6,8 и 4,3 % превышали показатели сверстников, несущих генотипы *GH^{AA}* и *GH^{BB}*. Сравнительным анализом при измерении промера косая длина туловища среди группы баранчиков в зависимости от полиморфизма гена *CAST* установлено, что носители генотипа *CAST^{MN}* отличались большим значением изучаемого признака на 4,0 и 3,2 %, чем сверстники с генотипами *CAST^{MM}* и *CAST^{NN}*. Баранчики-носители генотипов *GDF9^{AG}* и *GDF9^{GG}* по анализируемому параметру уступали на 3,0 и 3,1 % аналогам *GDF9^{AA}*.

В выявленном полиморфизме гена *GH* носители *GH^{AB}* отличались большей величиной обхвата пясти на 3,7 и 2,4 %, чем сверстники гомозиготных *GH^{AA}* и *GH^{BB}* генотипов. Баранчики-носители гетеро- и гомозиготного *CAST^{MN}* и *CAST^{NN}* генотипов характеризовались большей

величиной обхвата пясти, в сравнении с аналогами *CAST*^{MM}. Выявленная закономерность по измеренному параметру проявилась и среди группы баранчиков в зависимости от полиморфных вариантов гена *GDF9*, свидетельствующая о преимуществе особей с генотипами *GDF9*^{AA} и *GDF9*^{AG} над сверстниками с вариантом *GDF9*^{GG}, составившее 3,8 и 2,6 %.

Полученные нами в ходе исследования результаты согласуются с выводами других авторов, в частности с научной работой К.М. Molabe (2023), посвященной изучению однонуклеотидных полиморфизмов гена гормона роста и его связи с особенностями роста овец породы Дорпер, позволившей выявить положительную взаимосвязь полиморфных вариантов гена *GH* с высотой в холке. При оценке селекционных признаков овец романовской породы в зависимости от полиморфизма гена гормона роста авторами (М.В. Abramova et al., 2022) установлена достоверная положительная связь с высотой в холке и крестце.

Рассмотрим данные о наличии ассоциации генотипов полиморфизмов с. 255 G>A в гене *GH*, с.767+200G>A в гене *CAST*, с.397G>A в гене *GDF9* с промерами ширины, глубины, обхват груди, характеризующими развитие грудной клетки и зависящими от развития костей осевого скелета, обладающими наибольшей степенью роста в постэмбриональный период у животных исследуемой популяции (таблица 12).

Так, измерения грудных промеров у ярок с различными аллельными вариантами гена *GH* показали, что особи генотипов *GH*^{AB} и *GH*^{BB} превосходили носителей генотипа *GH*^{AA} по глубине груди – на 5,1 и 3,9 %, ее ширине – на 10,4 и 7,8 %, обхвату – на 5,1 и 3,2 %.

Аналогичная тенденция прослеживается в результате измерений промеров телосложения исследуемой группы ярок с учётом сочетаний генотипов гена *CAST*.

Таблица 12 – Промеры, характеризующие развитие грудной клетки у ярок породы маньчский меринос с различными генотипами генов *GH CAST* и *GDF9* (возраст 4 месяца), см., (n=91)

Генотип	Промер, см		
	Глубина груди	Ширина груди	Обхват груди
Ген <i>GH</i>			
<i>GH^{AA}</i>	25,7±0,2	19,2±0,2	71,0±0,5
<i>GH^{AB}</i>	27,0±0,4**	21,2±0,4***	74,6±0,6***
<i>GH^{BB}</i>	26,7±0,7	20,7±0,6**	73,3±1,5
Ген <i>CAST</i>			
<i>CAST^{MM}</i>	26,0±0,2	18,7±0,2	70,8±0,4
<i>CAST^{MN}</i>	27,5±0,5**	21,4±0,6***	74,0±0,8***
<i>CAST^{NN}</i>	26,8±1,0	20,3±0,6*	72,9±1,0
Ген <i>GDF9</i>			
<i>GDF9^{AA}</i>	26,7±1,2	20,78±0,3**	73,0±1,3
<i>GDF9^{AG}</i>	26,2±0,3	19,4±0,4	72,8±0,8
<i>GDF9^{GG}</i>	25,6±0,2	18,3±0,2	70,6±0,4

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

При этом явное преимущество по промерам, характеризующим развитие груди, выявлено у носительниц генотипов *CAST^{MN}* и *CAST^{NN}* над аналогами *CAST^{MM}* по глубине груди на 5,8 и 3,1 %, ширине – на 14,4 и 8,6 %, обхвату – 4,5 и 3,0 %. Что касается взаимосвязи разных генотипов гена *GDF9* с показателями грудных промеров исследуемой группы ярок, то особи с генотипами *GDF9^{AA}* и *GDF9^{AG}* отличались большей глубиной груди – на 4,3 и 2,3 %, ее обхватом – на 3,4 и 3,1 %, чем обладательницы генотипа *GDF9^{GG}*. Однако среди ярок с различными аллелями гена *GDF9* наиболее значимые различия обнаружены в показателях промера ширина в груди. Так, носители гомозиготного *GDF9^{AA}* генотипа превосходили особей с генотипами *GDF9^{AG}* и *GDF9^{GG}* на 7,1 и 13,6 %.

Путем ассоциативного анализа полиморфных вариантов генов *GH*, *CAST* и *GDF9* с изученными промерами экстерьера, характеризующими развитие грудной клетки у исследуемой группы

баранчиков породы маньчский меринос также выявлены определенные различия (таблица 13).

Таблица 13 – Промеры, характеризующие развитие грудной клетки у баранчиков породы маньчский меринос с различными генотипами генов *GH CAST* и *GDF9* (возраст 4 месяца), см., (n=120)

Генотип	Промер, см		
	Глубина груди	Ширина груди	Обхват груди
Ген <i>GH</i>			
<i>GH^{AA}</i>	26,3±0,2	20,5±0,25	72,8±0,5
<i>GH^{AB}</i>	27,7±0,3***	22,1±0,36***	76,5±0,6***
<i>GH^{BB}</i>	27,6±0,9*	21,6±0,6	75,3±1,46
Ген <i>CAST</i>			
<i>CAST^{MM}</i>	26,2±0,2	20,6±0,2	72,2±0,5
<i>CAST^{MN}</i>	27,5±0,4**	21,7±0,4**	75,7±0,8***
<i>CAST^{NN}</i>	27,3±0,9	22,0±0,6*	75,0±1,2
Ген <i>GDF9</i>			
<i>GDF9^{AA}</i>	27,4±0,6*	21,8±0,8*	76,1±2,0
<i>GDF9^{AG}</i>	27,2±0,6*	21,5±0,6**	75,2±1,4
<i>GDF9^{GG}</i>	26,0±0,2	20,0±0,2	74,8±0,4

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Так, наличие в геноме овец аллеля В гена *GH* ассоциировано с большей глубиной груди – на 5,3 и 5,0 %, ее шириной – на 7,8 и 5,4 %, обхватом – на 5,0 и 3,4 %. В выявленных полиморфных вариантах гена *CAST* носители генотипов *CAST^{MN}* и *CAST^{NN}* также превосходили баранчиков с генотипом *CAST^{MM}* по всем грудным параметрам: глубине груди 5,0 и 4,2 %, ширине – 5,3 и 6,8 %, обхвату – 4,8 и 3,8 %. Анализ данных измерения грудных промеров в группе баранчиков с различными аллельными вариантами гена *GDF9* позволил выявить следующее: носители генотипов *GDF9^{AA}* и *GDF9^{AG}* отличались более глубокой (5,4 и 4,6 %) и широкой грудью (9,0 и 7,5 %), чем сверстники с генотипом *GDF9^{GG}*. Различия по обхвату груди у исследуемой группы баранчиков с различными аллелями гена *GDF9* оказались

незначительными, но были выше у носителей $GDF9^{AA}$ генотипа на 1,2 и 1,7 %, в отличие от особей с генотипами $GDF9^{AG}$ и $GDF9^{GG}$.

Полученные нами в ходе исследования результаты согласуются с выводами других авторов (A.L. Machado, A.N. Meira et al., 2020), которые при изучении фенотипических и генетических корреляций промеров экстерьера с наличием аллельных вариантов по гену $CAST$ также обнаружили положительную взаимосвязь генотипов данного гена со следующими промерами: косая длина туловища, обхват груди и пясти.

Как известно абсолютные величины промеров не в полной мере формируют представление о телосложении животных и характере их продуктивности. Поэтому для более полной характеристики экстерьера овец породы манычский меринос в зависимости от разных генотипов генов GH , $CAST$ и $GDF9$ нами определялись соответствующие индексы телосложения, указывающие на определенные анатомически связанные между собой стати тела, позволяющие судить о степени развития организма, пропорциях тела и общем конституциональном типе животного.

Сравнением индексов телосложения в возрасте 4 месяцев у ярок с учётом сочетаний генотипов гена GH выявлено, что для овец генотипа GH^{AB} была характерна большая растянутость и массивность туловища. Однако ярки, несущие в гомозиготном и гетерозиготном состоянии аллель В в гене GH отличались лучшей степенью развития грудной клетки в сравнении с особями не имеющими этот аллель, что подтверждается большим значением грудного индекса телосложения (на 3,81 и 2,82 абс. %) (таблица 14).

Рассматривая индексы телосложения исследуемых особей с различными генотипами гена $CAST$, выявлено, что у носительниц генотипа $CAST^{NN}$ наблюдалась меньшая высоконоготь (на 1,33 и 1,55 абс. %), но большая сбитость (на 3,77 и 6,1 абс. %) и массивность (на

3,45 и 5,64 абс. %) туловища в отличии от ярочек с генотипами $CAST^{MN}$ и $CAST^{MM}$.

Таблица 14 – Индексы телосложения ярочек породы маньчский меринос с различными генотипами генов GH , $CAST$ и $GDF9$, %, (n=91)

Индексы телосложения	Ген/генотип		
	GH		
	GH^{AA}	GH^{AB}	GH^{BB}
Сбитости	136,02	135,4	137,0
Растянутости	98,31	99,28	97,81
Длинноногости	51,6	51,35	51,19
Грудной	74,71	78,52	77,53
Перерослости	102,82	103,06	103,29
Массивности	133,71	134,41	134,0
Костистости	15,25	15,14	15,0
$CAST$			
Индексы телосложения	$CAST^{MM}$	$CAST^{MN}$	$CAST^{NN}$
Сбитости	136,15	133,82	139,92
Растянутости	98,48	98,57	98,30
Длинноногости	50,76	50,98	49,43
Грудной	71,92	77,82	75,75
Перерослости	103,03	103,39	102,83
Массивности	134,10	131,91	137,55
Костистости	14,77	14,80	15,28
$GDF9$			
Индексы телосложения	$GDF9^{AA}$	$GDF9^{AG}$	$GDF9^{GG}$
Сбитости	134,44	140,0	136,29
Растянутости	98,73	98,30	98,48
Длинноногости	51,45	50,47	51,33
Грудной	77,83	74,05	71,48
Перерослости	103,09	103,40	103,23
Массивности	132,73	137,62	134,22
Костистости	14,55	14,93	14,64

Однако овцы с генотипами $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ характеризовались лучшей степенью развития грудной клетки (на 5,9 и 3,83 абс. %), по сравнению с ярками генотипа $CAST^{MM}$.

Изучая взаимосвязь разных генотипов в гене *GDF9* с индексами телосложения, выявлено, что для животных с гетерозиготным генотипом *GDF9*^{AG} была характерна меньшая высоконоготь, но большая сбитость (на 5,56 и 3,71 абс. %) и массивность (на 4,89 и 3,4 абс. %) туловища чем у носителей вариантов *GDF9*^{AA} и *GDF9*^{GG}. Напротив, особи с генотипом *GDF9*^{AA} имели лучшую степень развития грудной клетки на 3,78 и 6,35 абс. % в отличии от особей генотипов *GDF9*^{AG} и *GDF9*^{GG}.

Рассматривая индексы телосложения среди исследуемой группы баранчиков с учетом полиморфности генов *GH*, *CAST* и *GDF9* также выявлены определенные различия (таблица 15).

Путем проведенного анализа индексов телосложения баранчиков с учётом сочетаний генотипов гена *GH* обнаружено, что носители генотипа *GH*^{AB} характеризовались большей сбитостью (1,4 и 3,6 абс. %) и лучшей степенью развития грудной клетки (1,83 и 1,52 абс. %) в сравнении с животными гомозиготных *GH*^{AA} и *GH*^{BB} вариантов. Однако для особей, несущих в гомозиготном и гетерозиготном состоянии аллель В в гене *GH* была характерна большая массивность туловища.

При расчете индексов телосложения с различными аллельными вариантами гена *CAST* выявлено, что у носителей мутантного гомозиготного генотипа *CAST*^{NN} наблюдалась меньшая высоконоготь (на 1,8 и 2,3 абс. %), но большая сбитость (на 4,1 и 3,0 абс. %) и массивность (на 4,8 и 6,3 абс. %) туловища, а также лучшая степень развития грудной клетки (1,96 и 1,68 абс. %) по сравнению с животными *CAST*^{MN} и *CAST*^{MM} генотипов.

При анализе индексов телосложения выявлены определенные различия, связанные с аллельными вариантами гена *GDF9* свидетельствующие о том, что овцы, имеющие *GDF9*^{AG} вариант, характеризовались меньшей высоконоготью (на 0,87 и 1,98 абс. %), но большей сбитостью (на 2,28 и 2,32 абс. %) и массивностью (на 1,69 и

2,03 абс. %) туловища, в отличие от животных носителей $GDF9^{AA}$ и $GDF9^{GG}$ генотипов.

Таблица 15 – Индексы телосложения баранчиков породы маньчжурский меринос с различными генотипами генов GH , $CAST$ и $GDF9$, %, (n=120)

Индексы телосложения	Ген/генотип		
	GH		
	GH^{AA}	GH^{AB}	GH^{BB}
Сбитости	134,3	132,1	135,7
Растянутости	98,4	100,7	97,9
Длинноногости	52,3	51,8	51,1
Грудной	77,95	79,78	78,26
Перерослости	103,0	103,1	103,4
Массивности	132,2	133,0	132,8
Костистости	14,9	14,8	14,6
$CAST$			
Индексы телосложения	$CAST^{MM}$	$CAST^{MN}$	$CAST^{NN}$
Сбитости	131,0	132,1	135,1
Растянутости	100,5	98,5	100,0
Длинноногости	52,2	52,7	50,4
Грудной	78,63	78,91	80,59
Перерослости	103,2	103,1	103,1
Массивности	131,6	130,1	136,4
Костистости	14,4	14,4	15,0
$GDF9$			
Индексы телосложения	$GDF9^{AA}$	$GDF9^{AG}$	$GDF9^{GG}$
Сбитости	135,2	137,48	135,16
Растянутости	98,1	97,68	97,85
Длинноногости	52,3	51,43	53,41
Грудной	79,56	79,04	73,53
Перерослости	102,3	102,86	103,05
Массивности	132,6	134,29	132,26
Костистости	14,1	14,3	14,0

Однако у носителей $GDF9^{AA}$ и $GDF9^{AG}$ генотипов наблюдалось лучшая степень развития грудной клетки, о чем свидетельствует большее значение грудного индекса на 6,03 и 5,51 абс. %, в сравнении с аналогами $GDF9^{GG}$.

Полученные результаты позволили выявить ассоциации генотипов полиморфизмов с. 255 G>A в гене *GH*, с.767+200G>A в гене *CAST*, с.397G>A в гене *GDF9* с экстерьерными особенностями молодняка овец породы манычский меринос. Выявлено, что особи с генотипами GH^{AB} и GH^{BB} , $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$, $GDF9^{AG}$ и $GDF9^{GG}$ отличались лучшим соотношением статей тела, характеризующих их как животных с хорошо выраженными мясными формами.

3.3. Ассоциация полиморфизма в генах *GH* и *CAST* с количественными и качественными признаками мясной продуктивности баранчиков породы манычский меринос

3.3.1. Убойные качества, морфологический и сортовой состав мышечной ткани

Являясь важной частью животноводческой отрасли, овцеводство не только производит сырьё для шерстопрядильной промышленности, но и обеспечивает население мясом. На сегодняшний день производство баранины считается одним из перспективных направлений. Она широко распространена на внутреннем и международном рынках из-за своих характеристик постного мяса, менее жирного и легко перевариваемого (Y. Zhang et al., 2015; P.S. Ostapchuk et al., 2018, С.В. Семенченко, А.С. Дегтярь, 2014). Исследования показывают, что мясная продукция овец может иметь ряд биологических и пищевых преимуществ. Мясо, полученное от овец, обладает низким содержанием холестерина по сравнению с говядиной и свининой. Согласно данным, содержание холестерина в мясе составляет около 29 мг на 100 г продукта, что делает его более подходящим для диетического рациона. Кроме того, в мясе-баранине содержится больше такой аминокислоты как оксипролин, которая относится к числу важных компонентов для синтеза коллагена,

в свою очередь являющегося основным белком в соединительной ткани для обеспечения здоровья костей, суставов и кожи (А.А. Омаров и др., 2016; И.И. Дмитрик и др., 2020).

Поэтому в России также возрос интерес к вопросам формирования высокой мясной продуктивности овец, особенно к её качественным характеристикам. Так как на сегодняшний день селекционный процесс у овец в основном направлен на повышение мясной продуктивности, то рациональное использование генетических ресурсов отечественных тонкорунных пород может оказаться весьма результативным. Одной из таких пород является манычский меринос, обладающий сочетанием хороших шерстных качеств с высокими мясными характеристиками. Кроме того, животные этой породы отличаются высоким качеством продукции и приспособленностью к разведению в засушливых условиях (Л.Н. Скорых, А.В. Суховеева и др., 2023).

Сравнивая с традиционными методами селекции, основанными лишь на оценке фенотипа, изучение биологического материала овец позволяет выявлять определённые участки ДНК, отвечающие за мясную продуктивность и другие важные характеристики.

Существенное внимание уделяют изучению полиморфизма маркерных генов, контролирующих процессы роста, развития мышечных тканей и энергетического обмена. Основная задача, которая стоит перед российскими учёными – изучение полиморфных вариаций генов кальпастина (*CAST*), гормона роста (*GH*) предположительно сопряжённых с характеристиками мясной продуктивности овец (М.И. Селионова и др., 2019; А.И. Суров и др., 2022).

Исследования, проведённые на овцах породы советский меринос, показали, что наличие гетерозиготного генотипа СТ в гене *GH* у животных оказывает более высокую интенсивность роста по сравнению с молодняком, имеющим гомозиготные СС и ТТ генотипы (Н.С.

Сафонова и др., 2019). Ген кальпастатина входит в систему кальпаин-кальпастатинового каскада, которая обеспечивает нежность мяса.

Известно, что указанные гены оказывают значительное влияние на качество баранины в процессе её производства и должны быть изучены на различных популяциях овец (E. Uzabaci et al., 2022).

Вышеизложенное явилось основанием к анализу данных о наличии ассоциации генотипов полиморфизмов с. 255 G>A гена *GH* и с.767+200G>A гена *CAST* с количественными и качественными характеристиками мясной продуктивности.

Рассматривая убойные качества исследуемого поголовья баранчиков с учётом сочетаний генотипов генов *GH* и *CAST*, выявлено, что группа особей с генотипами GH^{AB} , GH^{BB} и $CAST^{MN}$, $CAST^{NN}$ отличались лучшими мясными характеристиками по сравнению с животными GH^{AA} и $CAST^{MM}$ генотипов (Л.Н. Скорых, А.В. Суховеева, А.В.Скокова, С.С. Бобрышов, 2023).

Так, по результатам контрольного убоя молодняка овец выявлено преимущество особей, несущих в гомозиготном и гетерозиготном состояниях аллель В в гене *GH*, в отличие от животных GH^{AA} генотипа по живой массе перед убоем (10,2 и 7,3 %, $p<0,05$), убойной массе (15,7 и 9,0 %, $p<0,01$), массе парной туши (15,8 и 9,1 %, $p<0,05$). Следовательно, обнаруженная закономерность отразилась на большем убойном выходе, характерном для особей носителей генотипа GH^{AB} , составив разницу по сравнению с животными GH^{AA} и GH^{BB} генотипов в 2,09 и 1,4 абс. % (таблица 16).

Анализ результатов проведённой обвалки туш у овец показывает, что особи с генотипами GH^{AB} и GH^{BB} имели лучшие результаты в отношении выхода отрубов I сорта на 1,6 и 1,0 абсолютных процента по сравнению с животными, являющимися носителями генотипа GH^{AA} . Полученные данные морфологического состава полутуш от животных изучаемых генотипов показали, что в тушах баранчиков GH^{AB} и GH^{BB}

генотипов содержалось большее количество мышечной ткани, чем у особей GH^{AA} генотипа на 18,8 и 10,8 % ($p < 0,05$). Кроме того, особи, несущие аллель В в гене GH характеризовались более высоким коэффициентом мясности на 11,1 и 6,8 % ($p < 0,01$) в сравнении с баранчиками, не имеющими этот аллель.

Таблица 16 - Убойные качества баранчиков породы маньчжурский меринос с разными генотипами по гену GH , (n=3)

Показатель	Генотип		
	GH^{AA}	GH^{AB}	GH^{BB}
Живая масса перед убоем, кг	37,7±0,67	41,53±0,87*	40,46±0,77*
Масса парной туши, кг	15,66±0,57	18,14±0,69*	17,08±0,34
Масса внутреннего жира, кг	0,336±0,08	0,363±0,04	0,346±0,05
Убойная масса, кг	15,99±0,29	18,50±0,56**	17,43±0,37**
Убойный выход, %	42,41	44,50	43,10
Масса мякоти, кг	5,9±0,20	7,01±0,23*	6,54±0,26
Выход мякоти, %	75,40	77,30	76,60
Масса костей, кг	1,93±0,1	2,06±0,2	2,0±0,2
Выход костей, %	24,60	22,60	23,40
Коэффициент мясности	3,06±0,08	3,40±0,02**	3,27±0,03
Выход отрубов по сортам:			
I сорт, %	86,40	88,0	87,40
II сорт, %	13,60	12,0	12,60

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

По результатам контрольного убоя исследуемой группы животных с учётом полиморфности гена $CAST$ также выявлены различия. Так, для животных с наличием в геноме аллеля N гена $CAST$ были характерны лучшие показатели мясной продуктивности: живая масса перед убоем (7,5 и 5,1 %, $p < 0,05$), убойная масса (10,5 и 5,5 %, $p < 0,05$), масса парной туши (10,7 и 5,5 %, $p < 0,05$), (таблица 17).

Разделение туши баранчиков на отрубы в зависимости от генотипов гена $CAST$ позволило обнаружить, что от особей с генотипами $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ получено немного больше отрубов первого сорта по

сравнению с баранчиками с генотипом $CAST^{MM}$. Разница составила 0,5 и 0,3 % в абсолютном значении.

Таблица 17 - Убойные качества баранчиков породы маньчский меринос с разными генотипами по гену $CAST$, (n=3)

Показатель	Генотип		
	$CAST^{MM}$	$CAST^{MN}$	$CAST^{NN}$
Живая масса перед убоем, кг	37,2±0,52	40,0±0,63 *	39,1±0,60
Масса парной туши, кг	15,54±0,34	17,20±0,54 *	16,40±0,20 *
Масса внутреннего жира, кг	0,336±0,05	0,341±0,06	0,347±0,01
Убойная масса, кг	15,88±0,46	17,54±0,26 *	16,75±0,22
Убойный выход, %	42,60	43,80	42,80
Масса мякоти, кг	5,85±0,30	6,63±0,30	6,26±0,25
Выход мякоти, %	75,28	77,10	76,30
Масса костей, кг	1,92±0,24	1,97±0,1	1,94±0,15
Выход костей, %	24,72	22,90	23,70
Коэффициент мясности	3,05±0,03	3,36±0,02 ***	3,22±0,04 *
Выход отрубов по сортам:			
I сорт, %	86,80	87,30	87,10
II сорт, %	13,20	12,70	12,90

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Анализ данных морфологического состава полутуш позволил определить, что в тушах особей, несущих в гомозиготном и гетерозиготном состоянии аллель N мутантного типа в гене $CAST$ содержалось больше мякоти, чем у сверстников генотипа $CAST^{MM}$ на 13,3 и 7,0 %. Кроме того, носители аллеля N гена $CAST$ отличались более высоким коэффициентом мясности на 10,1 и 5,6 % ($p < 0,001$, $p < 0,05$), чем особи, в геноме которых отсутствовал этот аллель.

Таким образом, выявлены достоверные ассоциации генотипов полиморфизмов генов с. 255 G>A гена GH , с.767+200G>A гена $CAST$ и количественно-качественными характеристиками мясной продуктивности овец.

Считаем, что полученные нами данные согласуются с результатами российских и зарубежных учёных по изучению генетического потенциала мясной продуктивности овец в разных природно-климатических зонах и возможности управления селекционным процессом на основе выявленных связей генов-маркеров с признаками продуктивности.

Так, проведена работа на овцах, разводимых в Ростовской области. В ходе исследования у особей сальской породы были выявлены достоверные ассоциации полиморфизма в гене *GH* (гормон роста) с признаками мясной продуктивности, что говорит о том, как различные варианты аллелей гена *GH* могут влиять на мясные характеристики (Ю.А. Колосов, и др., 2017).

Также установлены достоверные ассоциации разных генотипов гена *CAST* с массой парной туши и убойным выходом в популяции овец ставропольской породы (Е.Д. Карпова и др., 2022).

Выявлены ассоциации различных генотипов гена *CAST* с массой парной туши, нежностью мяса, диаметром мышечных волокон у овец породы араби. При этом особи с генотипом ТС имели более высокую массу парной туши по сравнению с генотипами ТТ ($17,3 \pm 1,49$ против $16,6 \pm 1,38$ кг). Тогда как носители генотипа ТС характеризовались меньшим диаметром мышечных волокон в отличие от животных с ТТ генотипом ($0,32 \pm 0,02$ против $0,33 \pm 0,01$) (А.Н. Salim et al., 2022).

Из вышесказанного следует, что современные подходы к селекции овец с использованием молекулярно-генетических методов будут способствовать увеличению мясной продуктивности и улучшению её качественных характеристик. Выявление животных с желательными для селекции аллелями, маркирующими высокую мясную продуктивность, послужит причиной к созданию новых, более полезных популяций, стад.

3.3.2. Степень развития внутренних органов и микроструктурный анализ мышечной ткани

Формирование внутренних органов во многом определяет продуктивность овец (А.Ч. Гаглоев и др., 2020). Учитывая степень висцерального развития после проведения контрольного убоя баранчиков породы манычский меринос установлено, что по гену *GH* лучшей степенью развития внутренних органов характеризовались животные с генотипами *GH^{AB}* и *GH^{BB}* (таблица 18).

Таблица 18 – Степень развития внутренних органов баранчиков породы манычский меринос с различными генотипами гена *GH*, (n=3)

Показатель	Генотип		
	<i>GH^{AA}</i>	<i>GH^{AB}</i>	<i>GH^{BB}</i>
Масса выделенной крови, г	1,82±0,06	2,34±0,3*	2,25±0,09**
Масса почек, г	113,3±5,6	122,0±10,1	121,3±6,8
Масса печени, г	630,0±26,9	661,7±37,0	660,0±32,9
Масса сердца, г	177,0±3,6	181,7±12,5	181,0±6,3
Масса легких с трахеей, г	594,3±15,8	608,7±11,3	606,0±22,5
Масса селезенки, г	67,7±3,8	74,7±8,4	73,7±5,2

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Кровь выполняет множество важных функций в организме, таких как: дыхание (перенос кислорода и углекислого газа), питание (перенос питательных веществ), выделение (выведение метаболитов), регуляция (перенос гормонов и медиаторов), гомеостаз (поддержание кислотности среды и концентрации основных метаболитов) и защита (включая белки и другие вещества с антибактериальными и противовирусными свойствами) (W.O. Reese et al., 2015). Так, в результате контрольного убоя по массе выделенной крови выявлено преимущество особей,

несущих в гомозиготном и гетерозиготном состояниях аллель В в гене *GH*, в отличие от животных *GH^{AA}* генотипа на 28,6 и 23,6 % ($p < 0,05$; $p < 0,01$).

Циркуляцию крови в организме животного осуществляет работа сердца, которое обеспечивает непрерывный кровоток, доставляя кислород и питательные вещества во все ткани организма животного. Овцы с *GH^{AB}* и *GH^{BB}* вариантами характеризовались большей величиной центрального органа сосудистой системы – сердца, что на 2,7 и 2,3 % выше его масса, чем у животных альтернативного *GH^{AA}* генотипа.

Масса лёгких с трахеей определяется таким показателем как прижизненная ёмкость лёгких (способность наибольшего вдоха после максимального выдоха) (А.Т. Barroso et al., 2018). Для овец-носителей *GH^{AB}* и *GH^{BB}* генотипов характерно и лучшее развитие лёгких, что обеспечивало интенсификацию обменных процессов в их организме.

Селезёнка – орган, отвечающий за формирование иммунной системы. Вес селезенки положительно коррелирует с массой тела. Полученные данные указывают, лучшее развитие этого органа наблюдалось у особей с вариантами *GH^{AB}* и *GH^{BB}* преимущество которых над особями с вариантом *GH^{AA}* составило 10,3 и 8,9 %. Полученные данные свидетельствуют о физиологической норме селезенки, что позволяет предположить, что у животных носителей аллеля В гена *GH* данный орган более активно выполнял свои защитные функции.

Печень - многофункциональный орган, регулирующий основные физиологические процессы и обладающий замечательной способностью к регенерации (N. Hohmann et al., 2014). Полученные данные свидетельствуют о меньшей массе печени (на 5,0 и 4,8 %) у носителей *GH^{AA}* генотипа в отличие от баранчиков с генотипами *GH^{AB}* и *GH^{BB}*.

Известно, что почки в организме животных играют важную роль в регуляции кислотно-щелочного баланса (поддержании концентрации

ионов водорода в организме (рН)). Можно предположить, что наиболее напряжённой выделительная способность почек была у овец, с вариантами GH^{AB} и GH^{BB} , поскольку размеры данного органа превышали значение показателя сверстников с генотипом GH^{AA} на 7,7 и 7,0 %.

При изучении морфологических показателей внутренних органов в зависимости от полиморфных вариантов гена $CAST$ лучшей степенью их развития характеризовались животные с генотипами $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ (таблица 19).

Таблица 19 – Степень развития внутренних органов баранчиков породы манычский меринос с различными генотипами гена $CAST$, (n=3)

Показатель	Генотип		
	$CAST^{MM}$	$CAST^{MN}$	$CAST^{NN}$
Масса выделенной крови, г	1,86±0,04	2,15±0,05***	1,95±0,36
Масса почек, г	111,7±6,2	116,7±1,5	115,7±5,9
Масса печени, г	592,3±45,8	624,3±36,0	625,3±40,8
Масса сердца, г	170,3±9,5	186,3±12,3	184,0±11,8
Масса легких с трахеей, г	547,0±25,2	621,3±28,2*	588,3±20,8
Масса селезенки, г	67,3±7,8	75,0±2,5	72,3±3,8

Примечание: * $p < 0,05$; *** $p < 0,001$

Так, объём выделенной крови был выше у особей, несущих в гетерозиготном состоянии аллель N в гене $CAST$ в отличие от животных с гомозиготными $CAST^{MM}$ и $CAST^{NN}$ генотипами на 15,6 и 10,2 % ($p < 0,001$). Однако присутствие аллеля N в геноме исследуемых баранчиков сопровождалось большим размером сердца у гомозиготных и гетерозиготных особей, преимущество которых в сравнении с генотипом $CAST^{MM}$ составило 9,4 и 8,0 %. Кроме того, особи генотипов $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ характеризовались лучшим развитием легких, чем носители генотипа $CAST^{MM}$ на 13,6 ($p < 0,05$) и 7,6 % соответственно.

Полученные данные, позволяют предположить, что животным генотипов $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ при интенсификации обменных процессов в организме требовалось большее поступление кислорода. Выявлено, что по массе селезенки разница в пользу животных генотипов $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ составила 11,4 и 7,4 % по сравнению с исследуемой группой овец генотипа $CAST^{MM}$.

Масса печени свидетельствует о нормальном ее развитии у всех исследуемых животных, но лучшее ее развитие наблюдалось у молодняка $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ вариантов (5,4 и 5,6 %), в отличие от сверстников генотипа $CAST^{MM}$.

Масса почек, исходя из данных контрольного убоя, имела меньшее значение у баранчиков, несущих в гомозиготном состоянии аллель М дикого типа на 4,5 и 3,6 % в сравнении с аналогами $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$, что свидетельствует о более интенсивной их работе.

Резюмируя вышеизложенное следует отметить, что сопоставление, анализ полученных результатов указывает на лучшую степень развития внутренних органов животных – носителей аллеля В гена GH и аллеля N гена $CAST$. Выявленная закономерность, выразившаяся в большем объеме циркулирующей крови у особей с генотипами GH^{AB} , GH^{BB} и $CAST^{MN}$ позволяет дать пояснение о том, что регуляция распределения питательных веществ корма достигается посредством стимулирующего действия метаболитов крови, которые активнее синтезируются и интенсивнее используются баранчиками данных генотипов, что подтверждается высокими темпами их роста, развития, превосходством по мясной продуктивности.

В современных условиях международного рынка потребители обращают внимание, как на количество мясной продукции, так и на ее качественный потенциал, который уже в западных странах реализуется с сопроводительными параметрами, одним из которых является «мраморность». Анализ мраморности играет важную роль в оценке

качества мяса, что имеет большое значение для мясной промышленности. Поэтому, микроструктурные методы анализа существенно углубляют, полученные на основе использования других методов результаты и способствуют выявлению незначительных изменений структур тканей, отражающихся на качестве мясной продукции (Л.Н. Скорых и др., 2022; W. Cheng et al., 2015). Мышечная ткань является крупнейшим резервуаром белка в организме животного. Она является основной тканью организма, определяющая пищевую ценность мяса, состоит из отдельных волокон, образуя первичные пучки, которые в свою очередь объединяются в группы пучков, образуя отдельную мышцу, покрытую более плотной оболочкой. Наиболее ценной частью тела животного является поперечно-полосатая мышечная ткань. Жировая ткань, состоит из жировых клеток, отделённых друг от друга прослойками рыхлой соединительной ткани. Причем специализированные мясные породы имеют отличительную черту «мраморности», откладывая жир между мышцами, что прослеживается на разрезе мышечной ткани. (Н. С. Сафонова, 2022, V.I.Trukhachev et al., 2021). Генетический полиморфизм, или наличие различных вариантов генов в популяции, играет важную роль в мясной продуктивности животных. Два особенно значимых гена в этом контексте – *GH* и *CAST*. Зная генетический профиль животных, можно улучшить мясную продуктивность и удовлетворить потребности потребителей в высококачественном и нежном мясе (В.Р. Плахтюкова, 2020).

Поскольку изучение особенностей микроструктурного строения мышечной ткани при его производстве в сочетании с другими признаками дает более объективную оценку качества мяса, то нами проведены гистологические исследования длиннейшего мускула мышцы спины (*m. Longissimus dorsi*) исследуемых баранчиков в

зависимости от комбинации вариантов генов *GH* и *CAST* (таблицы 20, 21; рисунки 6-11, 12-17).

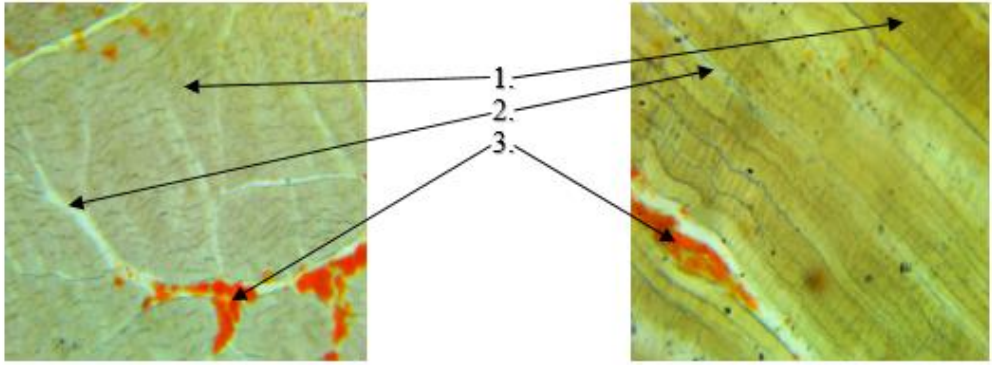
Таблица 20 – Микроструктурный анализ длиннейшей мышцы спины баранчиков породы маньчжурский меринос с различными генотипами гена *GH*, (n=3)

Показатель	Генотип		
	<i>GH^{AA}</i>	<i>GH^{AB}</i>	<i>GH^{BB}</i>
Количество мышечных волокон, шт.	363,15±1,06	384,66±0,52***	383,48±0,83***
Диаметр мышечного волокна, мкм	29,56±0,37***	27,70±0,21	28,20±0,05
Общая оценка «мраморности», балл	31,72±0,42	34,72±0,13***	34,56±0,22
Содержание соединительной ткани, %	8,80±0,04***	8,0±0,01	8,13±0,13
Площадь мышечного глазка, см ²	20,70±1,2	24,80±2,2*	24,20±0,9**

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Результаты гистологических исследований свидетельствуют, что мышечная ткань, у особей, несущих в гомозиготном и гетерозиготном состоянии аллель В, характеризовалась наибольшим количеством мышечных волокон на 5,9 и 5,6 % ($p < 0,001$), меньшим на 6,3 и 4,6 % их диаметром ($p < 0,001$), в отличие от животных, не имеющих этот аллель. При этом, мышечное волокно, полученное от баранчиков *GH^{AB}* и *GH^{BB}* генотипов отличалось большим количеством жировых межволоконных и межпучковых включений, что обусловило наиболее высокую оценку «мраморности» на 9,5 и 8,9 % ($p < 0,001$; $p < 0,01$) в сравнении с животными генотипа *GH^{AA}*.

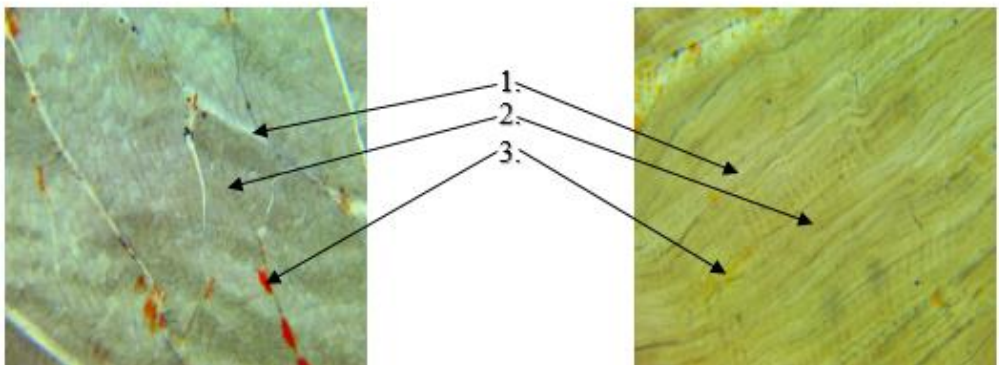
Кроме того, в длиннейшей мышце спины, полученной от овец генотипов *GH^{AB}* и *GH^{BB}* содержалось меньшее количество соединительной ткани на 0,8 и 0,67 абс. % ($p < 0,001$) в отличие от мяса особей генотипа *GH^{AA}*.



1 – мышечные волокна; 2 – соединительная ткань; 3 – жировая ткань (окраска гематоксилином Каррачи и судан III, увеличение x500)

Рисунок 6 – Гистологический срез (поперечный) *m. longissimus dorsi* баранчиков породы маньчский меринос генотипа АА гена *GH*

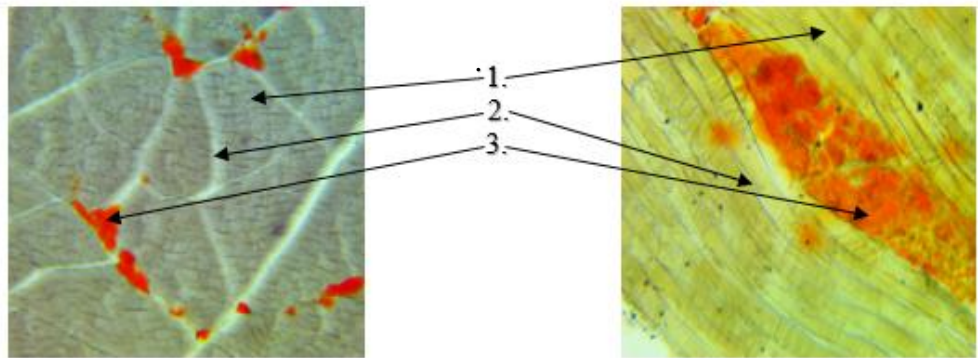
Рисунок 7 – Гистологический срез (продольный) *m. longissimus dorsi* баранчиков породы маньчский меринос генотипа АА гена *GH*



1 – соединительная ткань; 2 – мышечные волокна; 3 – жировая ткань (окраска гематоксилином Каррачи и судан III, увеличение x500)

Рисунок 8 – Гистологический срез (поперечный) *m. longissimus dorsi* баранчиков породы маньчский меринос генотипа АВ гена *GH*

Рисунок 9 – Гистологический срез (продольный) *m. longissimus dorsi* баранчиков породы маньчский меринос генотипа АВ гена *GH*



1 – мышечные волокна; 2 – соединительная ткань; 3 – жировая ткань (окраска гематоксилином Каррачи и судан III, увеличение x500)

Рисунок 10 – Гистологический срез (поперечный) *m. longissimus dorsi* баранчиков породы маньчский меринос генотипа ВВ гена *GH*

Рисунок 11 – Гистологический срез (продольный) *m. longissimus dorsi* баранчиков породы маньчский меринос генотипа ВВ гена *GH*

Наши исследования о влиянии вариации гена гормона роста на мясную продуктивность овец согласуются с результатами других ученых, изучающих полиморфизм данного гена. Так, Z. Akhatayeva et al., (2020) при проведении молекулярно-генетических исследований идентифицировали генетические вариации в гене *GH* китайских черноголовых овец Luxi Blackhead (LXBH). Далее изучили ассоциации генотипов в гене *GH* с морфометрическими показателями туши. Оказалось, что протестированные овцы с генотипом DD обладали лучшей мясной продуктивностью по сравнению с генотипами II и ID, что позволило авторам сделать предположение о положительном влиянии аллеля D на рост и развитие животных.

Рассмотрим данные о наличии ассоциации генотипов полиморфизма с.767+200G>A в гене *CAST* с качественными характеристиками мясной продуктивности баранчиков породы маньчский меринос.

Микроструктурный анализ мышечной ткани показал, что мясо, полученное от баранчиков, несущих в гомо- и гетерозиготном состоянии

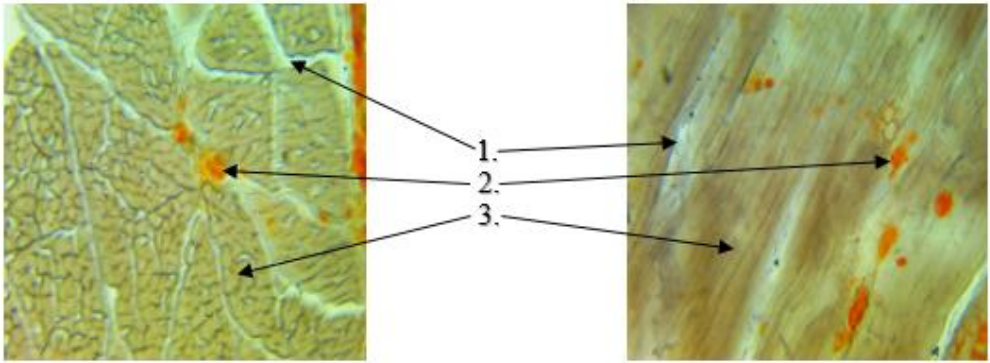
аллель N мутантного типа обладало наибольшим количеством мышечных волокон на 3,7 и 4,0 %, с меньшим диаметром волокна на 6,7 и 4,6 %, что свидетельствует о лучшем качестве мяса по сравнению с животными генотипа $CAST^{MM}$. К тому же, в длиннейшей мышце спины, полученной от баранчиков, имеющих генотипы $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ содержалось меньшее количество соединительной ткани на 0,46 и 0,33 абс. % в отличие от особей генотипа $CAST^{MM}$.

Таблица 21 – Микроструктурный анализ длиннейшей мышцы спины баранчиков породы манычский меринос с различными генотипами гена $CAST$, (n=3)

Показатель	Генотип		
	$CAST^{MM}$	$CAST^{MN}$	$CAST^{NN}$
Количество мышечных волокон, шт.	371,49±7,72	385,12±12,11	386,50±0,43
Диаметр мышечного волокна, мкм	30,10±1,27	28,08±0,93	28,70±0,29
Общая оценка «мраморности», балл	31,46±0,23	33,84±0,69***	33,32±0,21**
Содержание соединительной ткани, %	8,70±0,15	8,24±0,24	8,37±0,03
Площадь мышечного глазка, см ²	19,30±1,2	23,0±0,5**	23,50±2,1*

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

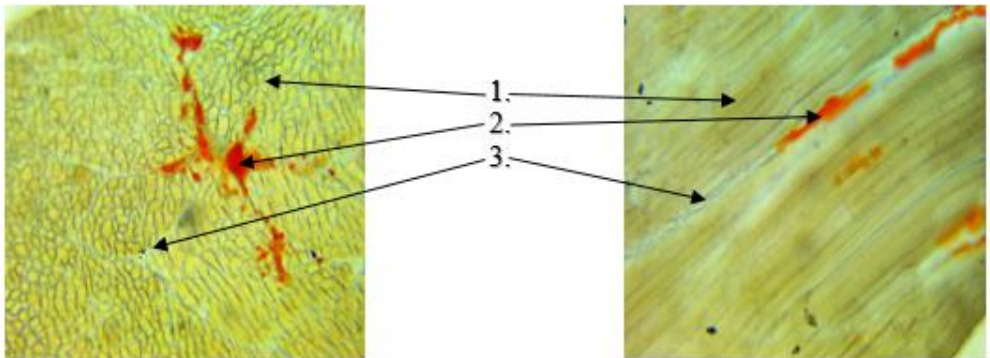
В нашем исследовании впервые описываются генетические варианты в области гена $CAST$ и их связь с ценными признаками мясной продуктивности у овец породы манычский меринос. Тем не менее, результаты других ученых также свидетельствуют о положительном влиянии полиморфизма гена кальпастина на количественные и качественные характеристики мяса овец.



1 – соединительная ткань; 2 – жировая ткань; 3 – мышечные волокна (окраска гематоксилином Каррачи и судан III, увеличение x500)

Рисунок 12 – Гистологический срез (поперечный) *m. longissimus dorsi* баранчиков породы маньчский меринос генотипа ММ гена *CAST*

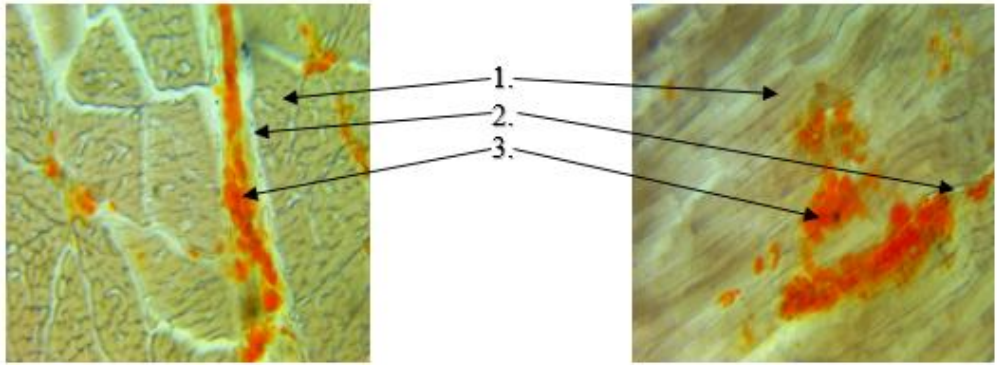
Рисунок 13 – Гистологический срез (продольный) *m. longissimus dorsi* баранчиков породы маньчский меринос генотипа ММ гена *CAST*



1 – мышечные волокна; 2 – жировая ткань; 3 – соединительная ткань (окраска гематоксилином Каррачи и судан III, увеличение x500)

Рисунок 14 – Гистологический срез (поперечный) *m. longissimus dorsi* баранчиков породы маньчский меринос генотипа MN гена *CAST*

Рисунок 15 – Гистологический срез (продольный) *m. longissimus dorsi* баранчиков породы маньчский меринос генотипа MN гена *CAST*



1 – мышечные волокна; 2 – соединительная ткань; 3 – жировая ткань (окраска гематоксилином Каррачи и судан III, увеличение x500)

Рисунок 16 – Гистологический срез (поперечный) *m. longissimus dorsi* баранчиков породы маньчжский меринос генотипа NN гена *CAST*

Рисунок 17 – Гистологический срез (продольный) *m. longissimus dorsi* баранчиков породы маньчжский меринос генотипа NN гена *CAST*

Так, Jawasreh et al., (2017) выявили, что у овец породы авасси, несущих генотип *MM* по гену *CAST*, общая масса костей оказалась выше, чем у носителей генотипа *MN*, в то время как у ягнят с генотипом *MN* обнаружили лучшее соотношение мяса и костей в туше.

Наблюдения M. Greguła-Kania et al., (2019) показали взаимосвязь генотипов гена *CAST* с процентным содержанием мышечной и жировой ткани в бедренной части туши ягнят. Особи, имеющие генотип *AA* отличались более высокой мышечной массой и меньшим количеством жира, по сравнению с другими изученными генотипами.

Поскольку одним из показателей степени мясности овец считается поперечное сечение длиннейшей мышцы спины между 12 и 13 грудными позвонками, то нами проанализирована площадь «мышечного глазка», позволяющая судить о лучшем развитии мясных форм животных, у молодняка овец с учетом принадлежности к изучаемому генотипу в генах *GH* и *CAST*.

Анализируя данные по площади «мышечного глазка» овец с учетом генотипов гена *GH* установили следующие закономерности:

носители генотипов GH^{AB} и GH^{BB} характеризовались наибольшей площадью среза длиннейшей мышцы спины, что на 19,8 и 16,9 % превысило числовое значение аналогов GH^{AA} .

Оценивая площадь «мышечного глазка» баранчиков в зависимости от генотипов гена $CAST$ обнаружили, что особи с генотипами $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ отличались большей площадью среза длиннейшей мышцы на 19,1 и 21,7 % по сравнению со сверстниками генотипа $CAST^{MM}$.

На основании проведенных исследований были получены данные о наличии ассоциации генотипов полиморфизмов с. 255 G>A в гене GH и с.767+200G>A в гене $CAST$ с качественными характеристиками мяса в популяции овец породы манычский меринос. Кроме того, исследования ряда ученых (Ю.А. Колосов, А.С. Дегтярь, 2014; Г.В. Завгородняя и др., 2016; И.И. Дмитрик, Г.В. Завгородняя и др., 2020) подтверждают положение о пропорциональной зависимости количества мышечных волокон и качества мяса, отмеченное в группе особей с генотипом GH^{AB} , GH^{BB} и $CAST^{MN}$, $CAST^{NN}$. Данное заключение указывает на то, что от животных этих генотипов можно получить больше мяса хорошего качества, о чем свидетельствуют гистологические исследования мышечной ткани овец, характеризующейся большей нежностью, сочностью, имеющей в совокупности высшее качество и потребительские свойства.

Можно отметить, что наличие информации об ассоциации генотипов рассмотренных полиморфизмов генов гормона роста и кальпастина с качественными показателями мяса может быть использовано для выявления особей, несущих ценные для дальнейшей селекции генотипы.

3.4. Показатели естественной резистентности ярок с различными генотипами по генам *GH*, *CAST*, *GDF9*

В процессе отбора животных по жизнеспособности существенная роль принадлежит иммунной системе организма, обеспечивающей его защиту от влияния неблагоприятных факторов, а также являющуюся мощнейшим механизмом поддержания гомеостаза и уровня метаболизма в органах, ответственных за продуктивные качества. Кроме того, резистентность анализируется не только как биологический фактор, отражающей способность живого организма противостоять неблагоприятным влияниям окружающей среды, но и как хозяйственно значимый признак (С.С. Бобрышов, Л.Н. Скорых и др., 2015).

Организм животных наделен комплексной иммунной системой, призванной защищать его от потенциально опасных патогенов, в том числе бактерий. Во многом эта защита обеспечивается за счет мощного арсенала противобактериальных механизмов. Одним из ключевых компонентов антибактериальной защиты является выработка специфических белков, известных как антибактериальные соединения (N. Sutthi, et al., 2020).

Одним из наиболее важных гуморальных факторов врожденного иммунитета у животных является лизоцим. Этот белок активно участвует в формировании системной защиты от грамположительных бактерий (Т. Н. Михайленко и др., 2018).

Бактерицидный и лизоцимный параметры иммунной реактивности сыворотки крови служат ценным инструментом для оценки эффективности антибактериальных механизмов организма. Бактерицидная активность сыворотки крови отражает общую способность иммунной системы бороться с бактериальными инфекциями (П. С. Остапчук и др., 2023).

Вследствие того, что бактерицидная и лизоцимная активность сыворотки крови являются важными инструментами для анализа иммунной системы, поэтому мы посчитали необходимым выявить взаимосвязь полиморфных вариантов генов *GH*, *CAST*, *GDF9* с показателями естественной резистентности у ярок породы маньчский меринос.

Сравнительным анализом гуморальных факторов защиты у исследуемых животных с учетом сочетаний генотипов генов *GH*, *CAST*, *GDF9* обнаружены определенные различия, носящие разнородный характер (таблица 22).

Рассматривая уровень бактерицидной активности сыворотки крови исследуемого поголовья в зависимости от сочетаний аллельных вариантов гена *GH* выявлено превосходство особей с гетеро- и гомозиготными генотипами GH^{AB} и GH^{BB} над ярками с генотипом GH^{AA} , составившее в 4-месячном возрасте 3,9 и 4,3 абс. % ($p < 0,01$), в 14-месячном – 4,9 и 4,6 абс. % ($p < 0,001$). Выявленные различия по величине изучаемого параметра иммунной реактивности наблюдались и среди ярок в зависимости от генотипов гена *CAST*, где животные с генотипами $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ превосходили особей с генотипом $CAST^{MM}$ в 4 месяца на 4,4 и 2,6 абс. % ($p < 0,05$). Однако рассмотрение уровня бактерицидной активности сыворотки крови в возрасте 14 месяцев среди ярок разных полиморфных вариантов гена *CAST* выявило увеличение ее концентрации у особей гетерозиготного генотипа $CAST^{MN}$ над сверстницами гомозиготных $CAST^{MM}$ и $CAST^{NN}$ генотипов на 1,7 и 1,4 абс. %. Во все периоды наблюдений по гену *GDF9* показатель БАСК у особей, несущих в гомозиготном и гетерозиготном состоянии аллель А мутантного типа был выше: в 4 месяца на 2,0 и 1,7 абс. %, в 14 месяцев – на 2,0 и 1,7 % в сравнении с ярками не имеющими этот аллель.

Таблица 22 – Гуморальные факторы естественной резистентности ярок с различными генотипами генов *GH*, *CAST*, *GDF9*, %, (n=91)

Генотип	Возраст, месяцев	Бактерицидная активность сыворотки крови (БАСК)	Лизоцимная активность сыворотки крови (ЛАСК)
Ген <i>GH</i>			
<i>GH^{AA}</i>	4	38,20±0,7	28,10±0,5
	14	41,60±0,4	32,20±0,3
<i>GH^{AB}</i>	4	42,10±1,1**	32,10±1,2***
	14	46,50±0,8***	37,0±0,5***
<i>GH^{BB}</i>	4	42,50±3,1*	31,20±1,0*
	14	46,20±0,6***	34,60±1,0**
Ген <i>CAST</i>			
<i>CAST^{MM}</i>	4	39,80±0,7	29,20±0,6
	14	44,70±0,5	35,40±0,3
<i>CAST^{MN}</i>	4	44,20±1,8*	33,10±0,9**
	14	46,40±1,0	36,42±1,0
<i>CAST^{NN}</i>	4	42,40±1,8	32,0±1,7
	14	45,0±1,0	36,40±0,6
Ген <i>GDF9</i>			
<i>GDF9^{AA}</i>	4	42,26±3,7	31,90±2,6
	14	46,10±3,3	36,60±1,5
<i>GDF9^{AG}</i>	4	41,90±1,6	32,0±1,4
	14	45,80±0,8	35,60±0,7*
<i>GDF9^{GG}</i>	4	40,20±0,7	30,30±0,5
	14	44,10±0,4	34,20±0,3

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

При рассмотрении уровня лизоцимной активности сыворотки крови установлено, что особи, имеющие генотипы *GH^{AB}* и *GH^{BB}* превосходили сверстниц генотипа *GH^{AA}* в 4-месячном возрасте на 4,0 и 3,1 абс. % ($p < 0,001$), в 14 месяцев – на 4,8 и 2,4 абс. % ($p < 0,001$). Сравнительный анализ показателя, характеризующего гуморальный фактор защиты в возрасте 4 месяцев у исследуемого поголовья овец в зависимости от полиморфизма гена *CAST*, показал, что у ярок с генотипами *CAST^{MN}* и *CAST^{NN}* наблюдается наибольший уровень ЛАСК,

по сравнению с особями генотипа $CAST^{MM}$, составивший 3,9 и 2,8 абс. % ($p < 0,01$). Однако в возрасте 14 месяцев у исследуемых животных с учетом сочетаний генотипов гена $CAST$ существенной разницы в концентрации ЛАСК не обнаружено. Рассматривая концентрацию лизоцимной активности сыворотки крови у овец в зависимости от полиморфных вариантов гена $GDF9$ прослеживается низкий ее уровень у ярок с генотипом $GDF9^{GG}$, чем у животных с генотипами $GDF9^{AA}$ и $GDF9^{AG}$ как в возрасте 4 месяца на 1,6 и 1,7 абс. %, так и 14 месяцев – на 2,4 и 1,4 абс. % ($p < 0,05$).

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить ассоциации генотипов полиморфизмов с. 255 G>A в гене GH , с.767+200G>A в гене $CAST$, и с.397G>A в гене $GDF9$ с показателями, характеризующими гуморальные факторы естественной защиты в разные возрастные периоды в популяции ярок породы маньчжский меринос. Важно отметить, что особи с наличием аллеля В гена GH отличались более высоким уровнем защитных сил растущего организма, что свидетельствует о лучшей адаптационной способности к условиям окружающей среды. Выявленная закономерность позволяет предположить, что от функциональности гена гормона роста могут зависеть и показатели естественной резистентности, так как рассматриваемый ген, обладает широким спектром биологического действия, выполняет важную роль в регуляции обмена веществ, контролирует рост, а также прямо или косвенно оказывает влияние на иммунную систему.

3.5. Биохимические показатели крови ярок с различными генотипами по генам GH , $CAST$, $GDF9$

Важнейшей оценкой состояния здоровья отдельно взятого животного является изучение биохимических показателей крови.

Параметры крови могут различаться в зависимости от некоторых факторов, таких как: порода, возраст, пол, функциональное состояние организма, высота над уровнем моря, содержание, уровень кормления, сезонные колебания, температура и физиологический статус животного (R.A.S. Oramari et. al., 2014).

Белки крови играют ведущую роль в обмене веществ организма. Они выполняют множество важных функций, таких как защита организма, синтез гормонов и ферментов, регенерация клеточных структур и многое другое. Поэтому при изучении роста и развития животных, а также при раскрытии их биологических основ продуктивности и генетического потенциала, уровень белков в сыворотке крови является одним из важных показателей (Борисов, Д.Р., 2014; Л.Н. Скорых, А.А. Омаров, 2016). Например, низкий уровень белков может указывать на недостаток питательных веществ или нарушения в пищеварительной системе. Высокий уровень белков, в свою очередь, может быть связан с воспалительными процессами (Bhat S.A. et al., 2011).

Из вышеизложенного следует, что белки крови играют важную роль в обмене веществ и множестве процессов, происходящих в организме. Исследование и контроль их уровня в сыворотке крови позволяют получить информацию о состоянии здоровья организма животного, его продуктивных показателях.

На основании вышеперечисленного у ярок породы маньчский меринос в возрастные периоды 4 и 14 месяцев были исследованы метаболиты белкового обмена и их особенности в зависимости от генотипов генов *GH*, *CAST*, *GDF9* (таблица 23). Полученные показатели подтверждают, что параметры белкового обмена меняют свои значения в зависимости от генотипов по диким или мутантным аллелям исследуемых полиморфизмов генов, а также от возрастного периода особей.

Общий белок - это совокупность всех белковых фракций в крови. Они обеспечивают постоянный объем крови, поддерживая коллоидно-осмотическое давление, связывая и удерживая воду и не позволяя ей вытекать из крови, а также участвуют в формировании иммунитета (А.И. Афанасьева и др., 2009; Б.Б. Траисов и др., 2022).

Уровень общего белка в более высокой концентрации имелся в сыворотке крови исследуемых ярок генотипов GH^{AB} и GH^{BB} по сравнению с вариантом GH^{AA} в 4-месячном возрасте на 5,2 и 9,4 %; в 14-месячном – на 5,6 и 5,3 % ($p < 0,05$).

Однако в зависимости от полиморфных вариантов генов *CAST* и *GDF9* различия в концентрации сывороточного белка носили разнородный характер. Так, рассматривая этот показатель в зависимости от полиморфных вариантов гена *CAST* у исследуемого поголовья в возрасте 4-ёх месяцев выявлено, что высокая концентрация сывороточного белка наблюдалась в крови овец гетерозиготного варианта $CAST^{MN}$ (67,9 %), что превысило его содержание в крови особей $CAST^{MM}$ и $CAST^{NN}$ генотипов на 4,1 и 2,3 %. Напротив, содержание белка в возрасте 14 месяцев у особей с генотипами $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ оказалась выше, чем у овец с генотипом $CAST^{MM}$ на 4,7 и 3,6 %. Особи с аллелем А гена *GDF9* отличались более высоким уровнем сывороточного белка только лишь в 14-месячном возрасте на 6,8 и 5,5 % ($p < 0,05$) по сравнению с ярками не имеющими этот аллель.

Альбумины и глобулины – одни из составных частей белковой фракции крови. Например, альбумин отвечает за поддержание коллоидно-осмотического давления крови, что помогает в поддержании стабильности внутренней среды организма. Глобулины, в свою очередь, играют важную роль в иммунной системе, участвуя в защите организма от инфекций и воспалений (О.В. Пономаренко и др., 2014).

Таблица 23 – Содержание общего белка и уровень белковых фракций в сыворотке крови ярок в зависимости от генотипов генов *GH*, *CAST*, *GDF9*, (n=91)

Генотип	Возраст, месяцев	Показатель						Альбумин-глобулиновый коэффициент (А/Г)
		Общий белок, г/л	Альбумин, г/л	Глобулины, г/л	Фракции глобулина, г/л			
					α	β	γ	
<i>GH^{AA}</i>	4	65,0±1,3	31,97±1,2	33,03±1,5	8,38±0,8	6,55±0,9	18,1±1,1	0,96±0,06
	14	70,1±0,8	30,67±0,3	39,43±0,5	9,03±0,2	7,1±0,2	23,3±0,2	0,77±0,003
<i>GH^{AB}</i>	4	68,4±1,4	33,8±1,1	34,6±1,42	8,45±0,9	6,65±1,5	19,5±1,5	0,97±0,06
	14	74,0±1,6*	32,5±0,7**	41,5±0,9*	9,1±0,3	7,2±0,3	25,2±0,4***	0,78±0,004
<i>GH^{BB}</i>	4	68,3±3,8	33,6±1,9	34,7±4,4	8,8±1,9	6,8±3,3	19,1±2,6	0,96±0,1
	14	73,8±1,3	32,7±0,5**	41,1±0,78	9,0±0,3	7,15±0,4	24,95±0,3**	0,79±0,05
<i>CAST^{MM}</i>	4	65,2±1,1	31,6±0,9	33,6±1,26	8,95±0,7	6,35±0,9	18,3±0,9	0,94±0,05
	14	70,2±0,8	30,5±0,3	39,7±0,48	9,53±0,2	7,17±0,2	23,0±0,2	0,76±0,003
<i>CAST^{MN}</i>	4	67,9±2,5	33,5±1,8	34,4±3,1	8,5±1,3	6,5±2,1	19,4±2,4	0,97±0,1
	14	73,5±1,4	32,8±0,6**	40,7±0,85	9,2±0,2	7,22±0,4	24,28±0,4**	0,80±0,003
<i>CAST^{NN}</i>	4	66,4±3,6	32,4±1,7	34,0±2,02	8,6±1,0	6,4±3,1	19,0±2,3	0,95±0,02
	14	72,7±2,2	31,8±0,9	40,9±1,29	9,45±0,7	7,35±0,2	24,1±0,6	0,77±0,003
<i>GDF9^{AA}</i>	4	68,0±2,7	33,2±3,0	34,8±0,55	8,75±3,1	6,75±0,8	19,3±4,0	0,95±0,09
	14	73,7±7,1	32,0±2,9	41,7±4,19	9,5±1,1*	7,4±1,2	24,8±1,9*	0,76±0,04
<i>GDF9^{AG}</i>	4	67,2±3,3	32,39±2,4	34,81±3,24	8,83±1,5	6,78±2,3	19,2±1,8	0,93±0,1
	14	72,8±1,8	31,2±0,7	41,6±1,06**	9,3±0,3***	7,3±0,4	25,0±0,5***	0,75±0,001
<i>GDF9^{GG}</i>	4	66,0±0,9	31,7±0,8	34,3±1,16	8,98±0,6	6,98±0,8	18,34±1,0	0,92±0,05
	14	69,0±0,7*	30,0±0,3	39,0±0,43	9,08±0,2	7,12±0,2	22,8±0,2	0,77±0,02

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

При рассмотрении качественного состава белковой картины крови исследуемых животных в зависимости от полиморфных вариантов генов *GH*, *CAST* и *GDF9* обнаружена неоднородность результатов. Так, уровень альбуминов в зависимости от генотипов гена *GH* был выше у носительниц GH^{AB} и GH^{BB} генотипов по сравнению со сверстницами генотипа GH^{AA} в 4 месяца на 5,7 и 5,1 %, в 14 месяцев на – 6,0 и 6,6 %. Аналогичная закономерность выявлена по степени увеличения концентрации глобулинов у особей GH^{AB} и GH^{BB} генотипов, составившей в возрасте 4 месяца на 4,7 и 5,2 %, в 14 месяцев – 5,2 и 4,2 % ($p < 0,05$), что больше чем у ярок генотипа GH^{AA} .

Что касается гена *CAST*, особи генотипа $CAST^{MN}$ по уровню альбуминов превосходили животных генотипов $CAST^{MM}$ и $CAST^{NN}$ в 4-месячном возрасте на 6,0 и 3,4 %. Напротив, у особей с генотипами $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ в возрасте 14 месяцев наблюдалась большее содержание альбуминов на 7,5 и 4,3 %, чем у овец с генотипом $CAST^{MM}$. Однако в изученные возрастные периоды у исследуемых животных с учетом сочетаний генотипов гена *CAST* существенной разницы в концентрации глобулинов не обнаружено.

Оценка фракционного состава белка исследуемых ярок в зависимости от полиморфных вариантов гена *GDF9* показала более высокий уровень альбуминов в крови овец с генотипом $GDF9^{AA}$ относительно носителей генотипов $GDF9^{AG}$ и $GDF9^{GG}$ в возрасте 4 месяца на 4,7 и 2,5 %. Однако в возрасте 14 месяцев большее содержание альбуминов наблюдалась в крови особей с генотипами $GDF9^{AA}$ и $GDF9^{AG}$ на 6,7 и 4,0 %, чем у овец с генотипом $GDF9^{GG}$. Особи с аллелем А гена *GDF9* отличались более высоким уровнем глобулинов только лишь в 14-месячном возрасте на 6,8 и 6,7 % ($p < 0,01$), по сравнению с ярками не имеющими этот аллель.

Определенный интерес представляют изменения отдельных подфракций глобулина у овец с различными полиморфными вариантами

генов *GH*, *CAST*, *GDF9*, которые носили волнообразный характер. Так, по уровню α - и β -глобулиновых фракций у исследуемых животных в зависимости от генотипов генов *GH*, *CAST*, *GDF9* существенных различий не обнаружено. Достоверные изменения были характерны для γ -глобулиновой фракции в сыворотке крови ярок генотипов GH^{AB} и GH^{BB} по сравнению с особями носителями генотипа GH^{AA} в возрасте 4 месяца на 7,5 и 5,5 %, в 14 месяцев на 8,2 и 7,1 % ($p < 0,001$; $p < 0,01$). Различия в этом иммунологическом показателе превышали значения у особей генотипов $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ по сравнению со сверстницами генотипа $CAST^{MM}$ как в возрасте 4 месяцев на 8,4 и 8,3 %, так и в 14 месяцев на 5,6 и 4,8 % ($p < 0,01$). Выявленная закономерность по уровню γ -глобулиновой фракции проявилась и среди животных в зависимости от полиморфных вариантов гена *GDF9*: особи генотипов $GDF9^{AA}$ и $GDF9^{AG}$ превосходили ярок с генотипом $GDF9^{GG}$ в 4 месяца на 5,2 и 4,7 %, в 14 месяцев на 8,8 и 9,6 % ($p < 0,05$; $p < 0,001$).

Обнаруженная закономерность может свидетельствовать о более высоком уровне защитного потенциала у носителей аллеля В гена *GH*, аллеля N гена *CAST*, аллеля А гена *GDF9*.

Выявленная закономерность по качественному составу белка, т.е. его альбуминовой и глобулиновой фракций, наглядно отразилась в величине коэффициента их соотношения – А/Г, вариабельность которого зависела как от возраста, так и от полиморфных вариантов генов *GH*, *CAST*, *GDF9* и составила в возрасте 4 месяцев от 0,92 до 0,97, в 14 месяцев от 0,75 до 0,80, что свидетельствует о физиологической направленности белкового обмена. Уменьшение значений альбумин-глобулинового коэффициента (А/Г) с возрастом обосновано закономерностью роста и развития организма овец.

В процессе промежуточного обмена образуется ряд химических соединений, выделяющихся из организма как продукты распада белков, которые в определенной степени, могут служить критериями оценки

интенсивности белкового обмена. Мочевина – один из конечных продуктов белкового обмена, содержащий азот (З.К. Гаджиев и др., 2014). Конечный продукт реакции креатин-фосфата – креатинин, который вырабатывается в мышцах, а затем поступает в кровь. Участвует в энергетическом обмене в мышцах и других тканях (В.П. Лушников и др., 2013).

Поскольку для суждения об интенсивности белкового обмена в определенной мере могут быть использованы конечные продукты белкового обмена, такие как мочевина и креатинин, то нами рассматривались эти метоболиты в крови овец с различными полиморфными вариантами генов *GH*, *CAST*, *GDF9* (таблица 24).

При рассмотрении уровня этих метаболитов в периферической крови ярок с учетом сочетаний генотипов гена *GH* выявлено, что у овец носителей генотипов *GH^{AB}* и *GH^{BB}* оказалась низкая концентрация мочевины и креатинина в возрасте 4 месяцев на 7,6 и 9,2 %, 5,0 и 7,8 %; в 14 месяцев - на 6,3 и 7,1 % ($p < 0,05$), 5,5 и 6,2 % ($p < 0,05$), чем у особей генотипа *GH^{AA}*.

В зависимости от полиморфных вариантов генов *CAST* и *GDF9* различия в изучаемых метаболитах носили разнородный характер. Так, уровень рассмотренных метаболитов в периферической крови ярок с учетом полиморфности гена *CAST* указывал на то, что у особей генотипов *CAST^{MN}* и *CAST^{NN}* наблюдалась низкая концентрация мочевины и креатинина по сравнению с генотипом *CAST^{MM}*, составившая в возрасте 4 месяцев 7,5 и 8,3 %, 7,6 и 5,4 % соответственно. Однако по уровню изученных метаболитов в сыворотке крови ярок с различными генотипами гена *CAST* в возрасте 14 месяцев существенные различия не обнаружены.

Таблица 24 – Уровень метаболитов белкового обмена в сыворотке крови овец в зависимости от генотипов генов *GH*, *CAST*, *GDF9*, (n=91)

Генотип	Возраст, месяцев	Показатель	
		Мочевина, ммоль/л	Креатинин, мкмоль/л
Ген <i>GH</i>			
<i>GH^{AA}</i>	4	7,1±0,2	121,8±4,6
	14	6,8±0,08*	111,8±1,4*
<i>GH^{AB}</i>	4	6,6±0,3	116,0±4,1
	14	6,4±0,2	106,0±2,7
<i>GH^{BB}</i>	4	6,5±0,3	113,0±5,0
	14	6,35±0,1	105,3±2,1
Ген <i>CAST</i>			
<i>CAST^{MM}</i>	4	7,2±0,2	125,4±3,6
	14	6,5±0,08	108,8±1,3
<i>CAST^{MN}</i>	4	6,7±0,4	116,5±7,0
	14	6,3±0,1	105,4±2,3
<i>CAST^{NN}</i>	4	6,65±0,3	119,0±6,3
	14	6,2±0,2	104,3±3,5
Ген <i>GDF9</i>			
<i>GDF9^{AA}</i>	4	6,57±0,4	115,32±8,2
	14	6,3±0,7	105,6±11,3
<i>GDF9^{AG}</i>	4	6,84±0,5	116,8±8,8
	14	6,51±0,2	107,8± 2,8
<i>GDF9^{GG}</i>	4	7,15±0,2	122,4±3,3
	14	6,9±0,07	108,5±1,2

Примечание: * $p < 0,05$

Исследование уровня мочевины в сыворотке крови ярок в зависимости от полиморфных вариантов гена *GDF9* позволило выявить, что для особей генотипов *GDF9^{AA}* и *GDF9^{AG}* была характерна низкая ее концентрация как в возрасте 4 месяца на 8,8 и 4,5 %, так в возрасте 14 месяцев – на 9,5 и 6,0 % по сравнению с особями генотипа *GDF9^{GG}*. По уровню креатинина в сыворотке крови ярок с различными генотипами

гена *GDF9* существенная разница отмечена лишь в 4-месячном возрасте у животных с аллелем А.

Известно, что многочисленные сопряженные биохимические процессы в организме животных протекают при активном участии ферментов, которые обуславливают не только направление, скорость течения биохимических реакций, но и создают, возможность адаптации процессов обмена веществ к условиям окружающей среды (Л.Н. Скорых, 2016).

При этом в качестве надежного критерия, позволяющего судить о состоянии здоровья животных, и как следствие его продуктивности, могут выступать ферменты переаминирования (Н.А.Н. Al-Nadithy et al., 2013).

Поэтому определенный интерес представляет рассмотрение трансаминазной активности крови у овец в зависимости от полиморфных вариантов генов *GH*, *CAST*, *GDF9*, концентрация которых отражает уровень белкового обмена в организме животных.

При рассмотрении концентрации ферментов переаминирования у исследуемого поголовья с учетом сочетаний генотипов гена *GH* установлена закономерность более высокого уровня активности трансаминаз во все наблюдаемые возрастные периоды у особей с генотипами *GH^{AB}* и *GH^{BB}* (таблица 25). Так, анализ полученных данных у исследуемого поголовья свидетельствовал, что активность изучаемых ферментов (АСТ и АЛТ) в крови ярок-носителей генотипов *GH^{AB}* и *GH^{BB}* превышала показатели сверстниц генотипа *GH^{AA}* в возрасте 4 месяца на 6,6; 5,9 и 6,6; 6,2 %; 14 месяцев - на 7,5; 5,1 и 7,0; 5,6 % соответственно.

Данные о наличии ассоциации генотипов полиморфизмов с.767+200G>A в гене *CAST*, и с.397G>A в гене *GDF9* с уровнем активности трансаминаз крови овец исследуемой популяции показали неоднозначность результатов.

Таблица 25 – Уровень активности ферментов переаминирования в сыворотке крови ярок с различными генотипами по генам *GH*, *CAST*, *GDF9*, (n=91)

Генотип	Возрастные периоды, месяцев	Показатель	
		АСТ, мккат/л	АЛТ, мккат/л
Ген <i>GH</i>			
<i>GH^{AA}</i>	4	0,709±2,8	0,243±1,0
	14	0,778±0,9	0,270±0,3
<i>GH^{AB}</i>	4	0,756±3,2	0,259±1,1
	14	0,836±1,9	0,289±0,6
<i>GH^{BB}</i>	4	0,751±3,3	0,258±1,1
	14	0,818±1,5	0,285±0,5
Ген <i>CAST</i>			
<i>CAST^{MM}</i>	4	0,719±2,3	0,236±0,8
	14	0,773±0,9	0,269±0,3
<i>CAST^{MN}</i>	4	0,750±4,5	0,257±1,6
	14	0,835±1,6	0,288±0,5
<i>CAST^{NN}</i>	4	0,727±4,6	0,249±1,6
	14	0,812±2,4	0,283±0,8
Ген <i>GDF9</i>			
<i>GDF9^{AA}</i>	4	0,748±7,9	0,256±2,8
	14	0,855±7,8	0,287±2,7
<i>GDF9^{AG}</i>	4	0,743±5,9	0,254±2,2
	14	0,821±2,0	0,282±0,7
<i>GDF9^{GG}</i>	4	0,728±2,1	0,239±0,7
	14	0,764±0,8	0,267±0,3

У животных с аллелем N гена *CAST* существенная разница отмечена лишь в 14-месячном возрасте по концентрации АСТ, составившая 8,0 и 5,1 % над ярками, не имеющими этот аллель. Однако наибольший уровень активности аланинаминотрансферазы (АЛТ) был характерен для животных носителей *CAST^{MN}* и *CAST^{NN}* генотипов по сравнению с ярками генотипа *CAST^{MM}* как в возрасте 4 месяца на 8,9 и 5,5 %, так и в 14 месяцев - на 7,1 и 5,2 %.

Аналогичная закономерность прослеживалась и при анализе данных ферментов переаминирования сыворотки крови у овец с разными генотипами гена *GDF9*, свидетельствующая, о том, что особи, несущие в гомо- и гетерозиготном состоянии аллель А отличались более высокой концентрацией аспартатаминотрансферазы, только лишь в возрасте 14 месяцев на 11,9 и 7,4 %, по сравнению с особями, не имеющими этот аллель. Полученные данные по уровню активности аланинаминотрансферазы (АЛТ) указывают на превосходство носителей генотипов *GDF9^{AA}* и *GDF9^{AG}* в отличие от особей генотипа *GDF9^{GG}*, как в возрасте 4 месяца на 7,1 и 6,3 %, так и 14 месяцев – 7,5 и 5,6 %.

Далее рассмотрим показатели концентраций некоторых метаболитов углеводного и липидного обмена в крови животных исследуемой популяции. С их помощью нами предпринята попытка сравнить напряженность энергетического обмена в организме молодняка овец как в возрастном аспекте, так и в зависимости от полиморфных вариантов генов *GH*, *CAST*, *GDF9*.

Полученные результаты свидетельствуют, что уровень глюкозы, характеризующий интенсивность энергетического обмена претерпевал определенные изменения в организме животных исследуемой популяции. Установлена общая закономерность, свидетельствующая, что с возрастом наблюдается незначительное увеличение уровня глюкозы в крови всех овец (таблица 26).

Рассматривая уровень данного энергетического компонента у исследуемого поголовья овец с учетом сочетаний генотипов гена *GH* выявлено, что наименьшая концентрация глюкозы отмечена в крови животных носителей генотипов *GH^{AB}* и *GH^{BB}* по сравнению с аналогами *GH^{AA}*, составившая в возрасте 4 месяца 9,1 и 5,9 % ($p < 0,001$); в 14 месяцев – 8,8 и 6,9 % ($p < 0,001$). Полученные данные свидетельствуют о более активном использовании энергетического фонда крови (углеводы)

для биосинтетических процессов в период роста и развития молодняка овец с генотипами GH^{AB} и GH^{BB} .

Таблица 26 – Компоненты углеводно-липидного обмена ярок с различными генотипами по генам GH , $CAST$, $GDF9$ (n=91)

Генотип	Возраст, месяцев	Показатель	
		Глюкоза, ммоль/л	Холестерин, ммоль/л
Ген GH			
GH^{AA}	4	3,6±0,05***	2,0±0,05***
	14	3,7±0,04***	2,1±0,03***
GH^{AB}	4	3,3±0,06	1,7±0,06
	14	3,4±0,08	1,89±0,06
GH^{BB}	4	3,4±0,1	1,8±0,2
	14	3,46±0,07	1,9±0,09
Ген $CAST$			
$CAST^{MM}$	4	3,55±0,04**	1,9±0,04
	14	3,65±0,04**	2,09±0,03*
$CAST^{MN}$	4	3,34±0,1	1,79±0,1
	14	3,37±0,07	1,93±0,07
$CAST^{NN}$	4	3,2±0,08	1,71±0,2
	14	3,3±0,1	1,98±0,2
Ген $GDF9$			
$GDF9^{AA}$	4	3,15±0,6	1,69±0,1
	14	3,31±0,4	1,78±0,4
$GDF9^{AG}$	4	3,41±0,1	1,81±0,1
	14	3,40±0,09	2,0±0,06
$GDF9^{GG}$	4	3,59±0,04*	1,91±0,04
	14	3,41±0,04	2,11±0,03*

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Выявленная закономерность прослеживалась и при анализе данных уровня глюкозы у овец с разными генотипами гена $CAST$, свидетельствующая, о том, что особи, несущие в гомо- и гетерозиготном состоянии аллель N отличались низким ее содержанием, как в возрасте

4 месяца на 6,3 и 11,0 % ($p < 0,01$), так и в 14 месяцев – 8,3 и 10,6 % ($p < 0,01$), по сравнению с особями, не имеющими этот аллель.

Далее, что касается глюкозы, энергетического субстрата необходимого для осуществления множества биохимических реакций, то можно отметить, что в сыворотке крови овец с генотипом $GDF9^{AA}$ наблюдается низкая её концентрация только лишь в возрасте 4 месяца (8,3 и 13,9 % ($p < 0,05$)), в отличие от аналогов $GDF9^{AG}$ и $GDF9^{GG}$.

Не менее контрастны данные, полученные и при изучении компонентов липидного обмена. Выявлено, что уровень холестерина, также претерпевал определенные изменения в организме молодняка овец исследуемой популяции. Установлена общая закономерность, свидетельствующая, что с возрастом наблюдается незначительное увеличение содержания холестерина в крови всех овец (таблица 26).

Рассматривая концентрацию метаболита липидного обмена у исследуемого поголовья овец с учетом сочетаний генотипов гена GH выявлено, что низкое содержание холестерина отмечено в крови особей, несущих в гомозиготном и гетерозиготном состоянии аллель V мутантного типа по сравнению с аналогами GH^{AA} , составившее в возрасте 4 месяца 17,6 и 11,1 % ($p < 0,001$); в 14 месяцев – 11,1 и 10,5 % ($p < 0,001$).

При анализе данных уровня холестерина у овец с разными генотипами гена $CAST$, обнаружено, что особи, несущие в гомозиготном состоянии аллель M отличались наибольшим его содержанием, как в возрасте 4 месяца на 6,1 и 11,1 %, так и в 14 месяцев – 8,3 и 5,6 % ($p < 0,05$), по сравнению с особями, не имеющими этот аллель.

Анализ данных об изменении рассматриваемого метаболита у исследуемых животных с учетом сочетаний генотипов гена $GDF9$ свидетельствует о том, что у особей, несущих в гомозиготном состоянии аллель A мутантного типа уровень холестерина был ниже в отличии от

сверстниц генотипов $GDF9^{AG}$ и $GDF9^{GG}$ в 4 месяца на 7,1 и 13,0 %, в 14 месяцев – на 12,3 и 18,5 % ($p < 0,05$).

Полученные данные позволили выявить, что биохимические параметры крови в популяции ярок породы манычский меринос в разные возрастные периоды находились в пределах физиологической нормы. Обобщая сравнительное изучение метаболитов белкового, углеводно-липидного обмена у овец исследуемых полиморфизмов в генах GH , $CAST$, $GDF9$ прослеживается определенная закономерность в ходе обменных процессов. В этой связи можем предположить, что обменные процессы у особей с генотипами GH^{AB} , GH^{BB} , $CAST^{MN}$, $CAST^{NN}$, $GDF9^{AA}$ протекали более интенсивно, создавая условия для лучшего роста и развития. Выявленная закономерность прослеживается в увеличении уровня общего белка, его фракционного состава (альбуминов, глобулинов), снижении уровня метаболитов энергетического обмена, уменьшении концентрации конечных продуктов азотистого обмена (мочевина, креатинин), что предопределяет высокий уровень биосинтетических процессов в организме животных обозначенных генотипов. Кроме того, более высокий уровень активности трансаминаз у ярок генотипов GH^{AB} , GH^{BB} , $CAST^{MN}$, $CAST^{NN}$, $GDF9^{AA}$, $GDF9^{AG}$ позволяет вовлекать больше энергетических и пластических ресурсов организма.

3.6. Ассоциация полиморфизма в гене GH с количественными и качественными показателями шерстной продуктивности ярок породы манычский меринос

Несмотря на изменение экономических приоритетов производства продукции овцеводства, основу которых составляет мясная продуктивность овец, для животных с однородной шерстью следует продолжать селекционную работу по увеличению количественных и

качественных показателей шерстной продуктивности (В.В. Абонеев, Ю.А. Колосов и др., 2020).

Невысокая цена на отечественную шерсть как на внутреннем рынке, так и на внешнем, в значительной степени обусловлена ее качеством. Основными недостатками отечественной тонкой шерсти в различных регионах страны, многие десятилетия остаются: неуровненность волокон по тонине как внутри штапеля, так и по руну; недостаточная длина; слабая прочность; плохой жиропот; сильная засоренность и другие. Все указанные пороки значительно обесценивают сырье и делают его неконкурентоспособным на мировом рынке. Все перечисленные пороки являются следствием, в основном, негенетических недостатков овец, а только лишь организационно-хозяйственных упущений, которые приводят к снижению закупочной цены на шерсть, а, следовательно, рентабельности овцеводства в целом (Б.С. Кулаков, В.В. Абонеев, 2012).

Шерсть, в отличие от синтетических волокон, проявляет более высокую степень изменчивости – это особенность её структуры и состава, позволяющая шерсти принимать и сохранять различные формы, а также обеспечивающая уникальные свойства (З.К. Гаджиев и др., 2023).

Шерсть является основной продукцией, получаемой от овец тонкорунных пород, и обладает уникальными технологическими свойствами, по которым с ней не сравнится ни один синтетический материал. Шерстная продуктивность зависит от наследственных особенностей и условий содержания животных. Наряду с мясной продуктивностью, она определяет экономическую эффективность овцеводства. Поэтому необходимо разводить животных с высокими показателями мясной продуктивности и, в то же время, по возможности не утратить шерстные качества (Ю.А. Колосов и др., 2014; Н.И. Ефимова, Л.Н. Скорых и др., 2015)

Одной из таких пород, характеризующихся отличной шерстной продуктивностью, наряду с высокими мясными качествами, является порода маньчский меринос (Л.Н. Скорых, А.В. Суховеева, А.В. Скокова и др., 2023).

Вышеизложенное явилось основанием к рассмотрению данных о наличии ассоциации генотипов полиморфизма с. 255 G>A в гене *GH* с количественно-качественными характеристиками шерстной продуктивности ярок породы маньчский меринос.

Важнейшим показателем, характеризующим уровень шерстной продуктивности животных, является настриг шерсти (Т.С. Кубатбеков, В.И. Косилов и др., 2020).

В проведенных исследованиях одной из поставленных задач являлось выявление животных в зависимости от генотипов гена *GH* с наибольшим настригом, выходом чистой шерсти и лучшим ее качественным составом.

Оценка шерстной продуктивности осуществлялась у ярок в 14-месячном возрасте после проведения весенней стрижки (таблица 27).

Таблица 27 – Шерстная продуктивность ярок породы маньчский меринос с различными генотипами гена *GH* (возраст 14 месяцев)

Генотип	n	Настриг шерсти, кг		Выход чистой шерсти, %
		немытой	чистой	
		M±m	M±m	
<i>GH^{AA}</i>	54	3,30±0,02***	2,10±0,01***	63,62±2,27
<i>GH^{AB}</i>	28	3,10±0,06	1,94±0,04	62,58±1,35
<i>GH^{BB}</i>	9	2,98±0,03	1,85±0,02	62,08±2,36

Примечание: *** $p < 0,001$

Анализ результатов шерстной продуктивности овец с учетом сочетаний генотипов гена *GH* свидетельствует о преимуществе носительниц *GH^{AA}* варианта по сравнению со сверстницами *GH^{AB}* и *GH^{BB}* генотипов по настригу немытой шерсти на 6,4 и 10,7 % ($p < 0,001$),

выходу чистой шерсти на 1,04 и 1,54 абс. % ($p < 0,001$). В свою очередь, носительницы генотипа GH^{AB} также имели преимущество над животными GH^{BB} генотипа по настигу немытой шерсти на 4,0 %. Выявленная закономерность по проценту выхода чистого волокна у особей с генотипом GH^{AA} оказала влияние и на увеличение настига чистой шерсти. В итоге превосходство ярок с генотипом GH^{AA} над аналогами GH^{AB} и GH^{BB} по рассматриваемому признаку составило 8,2 и 13,5 %. Так, носительницы варианта GH^{AB} превосходили сверстниц генотипа GH^{BB} по данному показателю на 4,9 %.

Анализ качества овечьей шерсти требует учёта нескольких критериев, таких как тонины, длина, прочность, насыщенность цвета и другие. Селекционеры, отвечающие за выбор лучших овец, нацелены на соблюдение установленных стандартов каждого из указанных параметров, и для достижения этой цели им приходится приложить значительные усилия (З.К. Гаджиев и др., 2023)

Основными факторами, влияющими на выход чистой шерсти, являются тонины шерсти (толщина волокон), длина шерсти, уравнивание шерсти (однородность волокон по различным параметрам) (М. В. Горбачева и др., 2018).

Важным качеством при оценке овец всех пород и особенно тонкорунного направления продуктивности является диаметр поперечного сечения шерстного волокна (В.В. Абонеев, Ю.А. Колосов и др., 2020). Среди качественных признаков шерсти - тонины является ключевой характеристикой для породы, а также важнейшим свойством, обозначающим ее технологическую ценность. Анализируя лабораторные исследования тонины шерстных волокон у ярок исследуемых генотипов гена GH установлено, что наиболее тонкая и дорогая шерсть при её будущей реализации была характерна для носительниц генотипов GH^{AB} и GH^{BB} на 1,03 и 1,35 мкм или 5,3 и 7,1 %

($p < 0,05$) по сравнению со сверстницами GH^{AA} варианта, при отличной уравненности по руну бок-ляжка у всех изучаемых генотипов.

Другим важным признаком у овец является длина шерсти (таблица 28), оказывающая не только прямое влияние на уровень шерстной продуктивности, но и, в конечном итоге, определяющая производственное назначение шерсти (Г.В. Завгородняя и др., 2021).

Длина шерсти измерялась во время бонитировки ярок разных генотипов по высоте штапеля на боку. Измерения показали, что лучшим ростом шерсти в длину характеризовались особи GH^{AA} варианта на 3,3 и 6,0 % по сравнению с животными-носительницами генотипов GH^{AB} и GH^{BB} , у которых значительных различий по длине шерсти не установлено.

Прочность шерсти на разрыв – одно из важнейших физических свойств шерсти, так как она характеризует технологические качества шерстного волокна и в значительной степени определяет ее производственное назначение. Изучение этого показателя у различных пород овец посвящен ряд работ. Прочность шерстных волокон зависит от ряда факторов: породности животных, условий кормления, внешней среды и других (Б.Б. Траисов, Ю.А. Юлдашбаев и др., 2021).

Наиболее высокими показателями прочности шерсти на разрыв характеризовались особи GH^{AA} генотипа, которая составила 8,80 сН/текс, что на 2,0 и 4,7 % больше, чем у аналогов GH^{AB} и GH^{BB} . Средняя прочность 8,62 сН/текс была установлена для носительниц GH^{AB} варианта. Отмечено, что самой низкой прочностью 8,40 сН/текс разрывной длины отличались животные генотипа GH^{BB} . Более высокая прочность у ярок генотипа GH^{AA} объясняется на наш взгляд большим диаметром шерстных волокон, что подтверждает известную закономерность, свидетельствующую о том, что прочность шерсти в большей степени зависит от тонины волокон.

Таблица 28 - Качественные показатели шерсти ярок породы манычский меринос с различными генотипами гена *GH* (возраст 14 месяцев)

Генотип	Тонина шерсти, мкм		Качество	Разница бокаляжка, мкм	Длина шерсти на боку, см	Прочность шерсти на разрыв, сН/текс
	бок	ляжка				
<i>GH^{AA}</i> (n=20)	20,26±0,36*	21,54±0,32	64	1,28	12,4±0,57	8,80±0,39
<i>GH^{AB}</i> (n=20)	19,23±0,28	20,11±0,33**	70	0,88	12,0±0,71	8,62±0,27
<i>GH^{BB}</i> (n=9)	18,91±0,32	19,75±0,34***	70	0,84	11,7±0,62	8,40±0,40

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Поскольку наиболее ценное шерстное сырье получают от овец тонкорунных пород, то, проанализировав потенциал шерстной продуктивности у ярок разных генотипов выявили наличие ассоциации генотипа AA полиморфизма с. 255 G>A гена *GH* с высоким настригом невымытой и чистой шерсти, а также процентом ее выхода. Наличие в геноме овец аллеля B гена *GH* ассоциировано с меньшим диаметром шерстного волокна.

Для получения более полной характеристики технологических свойств шерсти овец исследуемой популяции дальнейшие исследования были направлены на проведение экспертно-зоотехнической оценки рун ярок в зависимости от сочетаний аллельных вариантов гена *GH*.

Известно, что технологическая ценность рун тонкорунных овец зависит от комплекса признаков. В экспертно-зоотехническом описании рун мы решили остановиться на следующих признаках, а именно тонине шерсти, ее длине на различных топографических участках тела, качестве и цвете жиропота. При проведении технологической оценки одной из

основных качественных характеристик шерсти служит сортность руна в зависимости от тонины шерстных волокон в штапеле, а также по руно.

Результаты сортировки рунной шерсти по диаметру шерстного волокна у ярок в зависимости от генотипов гена *GH* представлены в таблице 29. Полученные данные свидетельствуют, что наиболее тонкой шерстью, в основном в пределах 70 качества, характеризовались особи с генотипом *GH^{AB}* и *GH^{BB}*. При этом следует отметить, что в исследуемой популяции ярок всех рассматриваемых генотипов гена *GH* встречается шерсть в большинстве случаев именно 70 качества, что указывает на ведение селекционной работы в данном племенном хозяйстве, направленное на улучшение шерстных качеств у овец.

Таблица 29 - Тонина шерсти на боку и ляжке у ярок с различными генотипами гена *GH*

Соотношение в рунах различных сортиментов шерсти, %	Участок	Генотип		
		<i>GH^{AA}</i> (n=20)	<i>GH^{AB}</i> (n=20)	<i>GH^{BB}</i> (n=9)
80 (14,5-18,0)	Бок	-	-	-
	Ляжка	-	-	-
70 (18,1-20,5)	Бок	60	100	100
	Ляжка	40	60	60
64 (20,6-23,0)	Бок	40	-	-
	Ляжка	50	40	40
60 (23,1-25,0)	Бок	-	-	-
	Ляжка	10	-	-

Не менее важное значение при изготовлении шерстных изделий придается уравниваемости волокон по длине.

Полученные результаты свидетельствуют, что особи с генотипом *GH^{AA}* отличались наибольшей высотой штапеля на всех топографических участках тела и лучшей уравниваемостью волокон по длине. Так, выявленное превосходство особей с генотипом *GH^{AA}* над сверстницами генотипов *GH^{AB}* и *GH^{BB}* отразилось в следующих данных:

большей длине шерсти на боку, составившей 3,3 и 6,0 %, ляжке – 5,2 и 8,0 %, брюхе – 9,6 и 10,8 % соответственно (таблица 30).

Таблица 30 - Длина шерсти на различных топографических участках туловища ярок в зависимости от генотипов гена *GH*

Генотип	Длина шерсти на разных топографических участках тела, см			
	бок	спина	ляжка	брюхо
<i>GH^{AA}</i> (n=20)	12,4±0,57	11,4±0,49	12,2±0,60	10,2±0,58
<i>GH^{AB}</i> (n=20)	12,0±0,71	11,3±0,37	11,6±0,51	9,3±0,70
<i>GH^{BB}</i> (n=9)	11,7±0,62	11,0±0,43	11,3±0,60	9,2±0,37

В овцеводческой отрасли наряду с тониной и длиной шерстного волокна важное место занимает извитость, которая является одним из основных показателей крепости, упругости и эластичности шерсти. Так, при изучении шерстного покрова ярок породы манычский меринос животные всех исследуемых вариантов генотипов гена *GH* отличались чётко выраженным характером извитков и равномерным их распределением по штапелю (таблица 31).

Таблица 31 - Степень выраженности и характер распределения извитости по штапелю у ярок с различными генотипами гена *GH*, %

Генотип	Количество исследованных образцов, шт	Характер выраженности извитости		Характер распределения извитков	
		чётко выраженная	слабо выраженная	равномерная	неравномерная
<i>GH^{AA}</i> (n=20)	20	100	-	100	-
<i>GH^{AB}</i> (n=20)	20	100	-	100	-
<i>GH^{BB}</i> (n=9)	9	100	-	100	-

Выход чистой шерсти с животного напрямую связан с уровнем содержания жира в шерстном покрове. Избыточное его количество приводит к снижению выхода чистой шерсти в процессе ее обработки.

Жиропот выполняет защитную функцию для шерсти, предохраняя ее от механических повреждений, загрязнений и воздействия окружающей среды. Благодаря жиропоту в руне из шерстного волокна формируются плотные, уравненные по длине и тонине пучки, называемые штапелями. В силу своих гидрофобных качеств, жиропот предохраняет шерсть от намокания и препятствует переохлаждению организма. Однако избыточное содержание жира негативно влияет на потребительские качества шерсти. Такая шерсть становится более тяжелой, грубой и менее эластичной, а также ухудшает механические свойства изделий, изготовленных из нее (И. Н. Сычева, 2019, В.В. Абонеев, Ю.А. Колосов и др., 2020).

Так, в ходе изучения отобранных образцов шерсти установлено, что ярки породы маньчский меринос по всем трём имеющимся генотипам гена *GH* имели белый цвет жира, что указывает на хорошее его качество (таблица 32).

Таблица 32 - Качество и цвет жира у ярок с различными генотипами гена *GH*

Показатель		Генотип		
		<i>GH^{AA}</i> (n=20)	<i>GH^{AB}</i> (n=20)	<i>GH^{BB}</i> (n=9)
Качество жира	Отличное	20	-	-
	Хорошее	60	70	70
	Удовлетворительное	20	30	30
Цвет жира	Белый	100	100	100
	Кремовый	-	-	-
	Светло-кремовый	-	-	-

Степень защиты жира шерсти овец напрямую зависит от его количества и качества. О способности руна противостоять

проникновениям загрязнений, можно судить по длине зон вымытости и загрязнения штапеля на различных участках руна. Степень вымытости и глубина загрязнения штапеля в большой степени определяется породным фактором и типом шерстного покрова. Величина зон загрязнения и вымытости зависит также от длины и густоты шерстных волокон в руне, а также уровня содержания и качества жиропота (В. В. Абонеев, Ю. А. Колосов, и др., 2020). Выявлено, что у ярочек с генотипом GH^{AA} наблюдается более высокая степень защиты жиропота, так как при экспертной оценке установлена меньшая глубина загрязнения на боку (на 6,0 и 11,2 абс. %) и спине (на 10,5 и 2,5, абс. %) по сравнению с особями GH^{AB} и GH^{BB} генотипов, что связано с особенностями структуры их шерстного покрова (таблица 33). Выявленная закономерность, указывающая на лучшие показатели овец с генотипом GH^{AA} как правило характерна для животных с более длинной и густой шерстью. Кроме того, животные с вариантом GH^{AA} предположительно могут иметь более высокие концентрации ланолина в жиропоте. Ланолин — это натуральное жирное вещество, обладающее антибактериальными и смягчающими свойствами. Он помогает поддерживать здоровье кожи и шерсти, защищает их от микроорганизмов и сухости (С. А. Соловьев и др., 2017). Исследования показали, что повышенная концентрация ланолина способствует улучшению качества шерсти, придавая ей мягкость, блеск и прочность. Эти свойства шерсти важны как для ее технологических характеристик, так и для общего благополучия и здоровья животных (Ю.А. Кожевников, М.С. Тургенбаев и др., 2019).

Таблица 33 - Степень загрязнения и величина вымытой зоны штапеля у ярок с различными генотипами гена *GH*, %

Генотип	Глубина загрязнения руна		Глубина вымытости руна	
	на боку	на спине	на боку	на спине
GH^{AA} (n=20)	29,8	46,2	16,1	29,8
GH^{AB} (n=20)	35,8	56,7	18,3	30,8
GH^{BB} (n=9)	41,0	48,7	19,7	26,5

Подводя итог проведенному нами исследованию по экспертно-зоотехническому описанию рун, можем сделать заключение, что среди ярок породы манычский меринос лучшими шёрстными качествами характеризовались особи, несущие аллель А в гомозиготном и гетерозиготном состоянии.

3.7. Экономическая оценка результатов исследований

Разработка методов эффективного использования генофонда пород овец, снижение затрат корма на единицу продукции, изыскание дополнительных резервов, улучшающих экономические показатели отрасли, является важнейшей задачей на современном этапе развития тонкорунного овцеводства. (Ю. А. Колосов и др., 2016). Поэтому в настоящее время наблюдается растущий интерес к генетическому улучшению экономических признаков у овец.

В связи с вышеизложенным нами проведен экономический анализ выращивания ярок различных генотипов породы манычский меринос.

Эффективность выращивания ярок различных генотипов рассчитывалась по доходу от реализации племенного молодняка, при этом учитывались расходы на генотипирование 1 головы животных, составившие 660 рублей (таблица 34). Реализационная стоимость племенного молодняка складывалась из фактических реализационных

рыночных цен, сложившихся на момент проведения исследований. Затраты на выращивание ярок всех рассматриваемых генотипов были одинаковыми, это обусловлено тем, что животные находились в идентичных условиях содержания. При расчете затрат на содержание одной головы животного руководствовались данными бухгалтерского учета. Прибыль от реализации племенного молодняка овец породы маньчский меринос рассчитывалась на основе разницы между реализационной стоимостью и затратами на содержание. Важным показателем прибыльности производства продукции является уровень рентабельности. Рентабельность производства продукции овцеводства оценивалась как отношение прибыли к общим затратам, выраженное в процентах.

Таблица 34 – Экономическая эффективность выращивания ярок различных генотипов в генах *GH*, *CAST*, *GDF9*, породы маньчский меринос

Генотип	Живая масса в 14-месячном возрасте, кг	Реализационная цена племенного молодняка в живой массе, руб.	Затраты, руб:			Стоимость продукции, руб.	Прибыль, руб.	Уровень рентабельности, %
			на выращивание одной ярки до 14 месяцев	на генотипирование 1 гол.	всего затрат			
<i>GH^{AA}</i>	44,0	170,8	6280,2	660	6940,2	7515,2	575	8,3
<i>GH^{AB}</i>	47,5					8113	1172,8	16,9
<i>GH^{BB}</i>	46,2					7891	950,8	13,7
<i>CAST^{MM}</i>	44,1					7532,3	592,1	8,5
<i>CAST^{MN}</i>	49,9					8522,9	1582,7	22,8
<i>CAST^{NN}</i>	47,7					8147,2	1207	17,4
<i>GDF9^{AA}</i>	49,7					8488,8	1548,6	22,3
<i>GDF9^{AG}</i>	45,3					7737,2	797	11,5
<i>GDF9^{GG}</i>	43,2					7378,6	438,4	6,3

Экономический анализ результатов исследований свидетельствует, что разведение ярок с генотипами GH^{AB} и GH^{BB} позволяет получить больше продукции на 8,0 и 5,0 %, что обеспечило наибольший уровень рентабельности – на 8,6 и 5,4 %, в отличие от аналогов GH^{AA} .

Аналогичная ситуация при оценке результатов экономической эффективности выращивания ярок породы маньчский меринос в возрасте 14 месяцев наблюдалась у животных-носителей $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ вариантов, от которых был получен больший выход продукции на 13,2 и 8,2 %, соответственно высокий уровень рентабельности – на 14,3 и 8,9 %.

Выявленная закономерность была характерна и для ярок с генотипами $GDF9^{AA}$ и $GDF9^{AG}$, сводящаяся к повышению выхода продукции на 15,0 и 4,9 %, увеличению уровня рентабельности – на 16,0 и 5,2 %.

На основании результатов экспериментальных исследований, анализа полученных данных, их интерпретации, оценки экономической эффективности выполненных исследований можно резюмировать, что комплексный подход совершенствования продуктивных качеств овец породы маньчский меринос на основе генотипирования по генам GH , $CAST$ и $GDF9$, позволяет выявлять наиболее ценных для селекции животных с целью производства высококачественной продукции, что способствует повышению рентабельности.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены сведения о генетической структуре и ассоциации генотипов полиморфизмов с. 255 G>A в гене *GH*, с.767+200G>A в гене *CAST*, и с.397G>A в гене *GDF9* с признаками продуктивности овец породы манычский меринос, разводимых в Ставропольском крае. На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. По результатам исследования образцов ДНК овец породы манычский меринос идентифицировали миссенс-мутацию, расположенную в кодирующей части экзона III гена *GH* (с. 255 G>A), миссенс-мутацию, расположенную в кодирующей части экзона I гена *GDF9* (с.397G>A), а также замену в некодирующей части (12-13 интрон) гена *CAST* (с.767+200G>A).

2. Проведенные исследования позволили установить разнообразие аллельных вариантов рассматриваемых генов. Полиморфизм с. 255 G>A в гене *GH*, с.767+200G>A в гене *CAST*, и с.397G>A в гене *GDF9* в исследуемой популяции овец породы манычский меринос представлен двумя аллелями с разной частотой встречаемости. Определены различия в распределении частоты встречаемости гомозиготных и гетерозиготных генотипов в изученных полиморфных вариантах генов. Установлено, что среди ярок и баранчиков наибольшая частота встречаемости характерна для гомозиготных вариантов GH^{AA} (59,4 и 61,6 %), $CAST^{MM}$ (78,1 и 71,7 %), $GDF9^{GG}$ (79,1 и 80,8 %).

3. Выявлено наличие ассоциации генотипов однонуклеотидных полиморфизмов в генах *GH*, *CAST*, *GDF9* с интенсивностью роста овец породы манычский меринос. Наибольшей живой массой характеризовались ярки с генотипами GH^{AB} и GH^{BB} , превосходящие особей с генотипом GH^{AA} в возрасте 2,5 месяца на 11,5

($p < 0,05$) и 7,7 %; 4 месяца – на 7,6 ($p < 0,05$) и 5,0 %; 6 месяцев – на 11,4 и 6,8 % ($p < 0,001$; $p < 0,01$); 8 месяцев – на 9,7 ($p < 0,01$) и 6,0 %; 14 месяцев – на 7,9 ($p < 0,01$) и 5,0 %. Наличие у овец полиморфных вариантов гена *CAST* выявило преимущество ярок-носителей генотипа *CAST^{MN}* и *CAST^{NN}* над аналогами *CAST^{MM}* по живой массе в возрасте 2,5 месяца на 10,6 и 9,3 %; 4 месяца – на 9,8 ($p < 0,01$) и 4,5 %; 6 месяцев – 15,5 ($p < 0,001$) и 11,2 %, 8 месяцев – 15,3 и 9,9 %; 14 месяцев – 13,9 и 8,2 % ($p < 0,001$; $p < 0,01$). Результатами динамики массы тела у исследуемых ярок в зависимости от генотипов гена *GDF9* установлено, что большая живая масса отмечена у особей с генотипами *GDF9^{AA}* и *GDF9^{AG}* над овцами генотипа *GDF9^{GG}*, составившая при рождении 9,2 и 6,9 %; в 2,5 месяца – 9,9 и 4,9 %; 4 месяца – 6,4 и 5,0 %; 6 месяцев – 10,8 и 4,3 %; 8 месяцев – 14,7 и 8,5 %, 14 месяцев – 15,1 ($p < 0,001$) и 4,8 %.

Установлено, что среди баранчиков с учётом сочетаний генотипов генов *GH*, *CAST* и *GDF9* обнаружена аналогичная картина, то есть группа особей с генотипами *GH^{AB}*, *GH^{BB}*, *CAST^{MN}*, *CAST^{NN}*, *GDF9^{AA}*, *GDF9^{AG}*, характеризовалась лучшими показателями по живой массе.

4. При рассмотрении количественных и качественных показателей мясной продуктивности у баранчиков с учетом полиморфности гена *GH* установлено, что особи с генотипами *GH^{AB}* и *GH^{BB}* превосходили животных с генотипом *GH^{AA}* по предубойной живой массе на 10,2 и 7,3 % ($p < 0,05$), массе парной туши – на 15,8 и 9,1 % ($p < 0,05$), убойной массе – на 15,7 и 9,0 % ($p < 0,01$). Животные, несущие аллель В в гене *GH*, характеризовались большим содержанием мышечной ткани на 18,8 и 10,8 % ($p < 0,05$), более высоким коэффициентом мясности на 11,1 и 6,8 % ($p < 0,01$) в сравнении с овцами, не имеющими этот аллель. Наличие в геноме овец аллеля N гена *CAST* ассоциировано с высокой живой массой перед убоем на 7,5 и 5,1 % ($p < 0,05$), массой парной туши – на 10,7 и 5,5 % ($p < 0,05$), убойной массой – на 10,5 и 5,5 % ($p < 0,05$), коэффициентом мясности – 10,1 и 5,6 %

($p < 0,001$, $p < 0,05$), в сравнении с особями, несущими аллель М в гомозиготном состоянии.

5. Гистологические исследования мышечной ткани баранчиков выявили, что мышечное волокно, полученное от носителей аллеля В гена *GH* ассоциировано с большим количеством мышечных волокон (5,9 и 5,6 %, $p < 0,001$), меньшим их диаметром (6,3 и 4,6 %, $p < 0,001$), содержанием соединительной ткани (0,8 и 0,67 абс. %, $p < 0,001$) в отличие от животных, не имеющих этот аллель. Кроме того, носители генотипов GH^{AB} и GH^{BB} характеризовались наибольшей площадью «мышечного глазка» на 19,8 и 16,9 % в отличие от аналогов GH^{AA} . Наличие в геноме овец аллеля N гена *CAST* ассоциировано с наибольшим количеством мышечных волокон на 3,7 и 4,0 %, с меньшим диаметром волокна - на 6,7 и 4,6 %. Особи с генотипами $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ отличались большей площадью среза длиннейшей мышцы на 19,1 и 21,7 %, чем баранчики генотипа $CAST^{MM}$.

6. Выявлено, что различия в рассматриваемых метаболитах белкового, углеводно-липидного обмена у овец в исследуемых полиморфизмах генов *GH*, *CAST*, *GDF9* носили разнородный характер. Установлено, что для ярок GH^{AB} и GH^{BB} генотипов во все изученные периоды наблюдений (4 и 14 месяцев) был характерен высокий уровень сывороточного белка в среднем на 5,2 и 9,4 % ($p < 0,05$), концентрация альбуминов – на 5,1 и 6,6 %, глобулинов – на 4,2 и 5,2 %, γ -глобулиновой фракции – на 5,5 и 8,2 % ($p < 0,001$; $p < 0,01$), но низкое содержание мочевины – на 6,3 и 9,2 % ($p < 0,05$), креатинина – на 5,0 и 7,8 % ($p < 0,05$), чем у особей генотипа GH^{AA} . Среди генотипов гена *CAST* установлены различия для особей $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ генотипа в сравнении с генотипом $CAST^{MM}$ только лишь в возрасте 14 месяцев по содержанию общего белка на 4,7 и 3,6 %; уровню альбуминов – на 7,5 и 4,3 %. Особи с аллелем А гена *GDF9* в 14-месячном возрасте отличались более высоким уровнем сывороточного белка на 6,8 и 5,5 % ($p < 0,05$),

содержанием альбуминов – на 6,7 и 4,0 %, глобулинов – на 6,8 и 6,7 % ($p < 0,01$) в отличие от ярок не имеющих этот аллель. При этом установлено, что особи генотипов $GDF9^{AA}$ и $GDF9^{AG}$ превосходили ярок с генотипом $GDF9^{GG}$ по уровню γ -глобулиновой фракции в 4 месяца на 5,2 и 4,7 %, в 14 месяцев на 8,8 и 9,6 % ($p < 0,05$; $p < 0,001$).

7. Установлено наличие ассоциации генотипов полиморфизма с. 255 G>A в гене GH с количественно-качественными характеристиками шерстной продуктивности ярок породы маньчский меринос. Выявлено преимущество носительниц GH^{AA} варианта над сверстницами GH^{AB} и GH^{BB} генотипов по настригу невытравленной шерсти на 6,4 и 10,7 % ($p < 0,001$), чистой – на 8,2 и 13,5 %, проценту ее выхода – на 1,04 и 1,54 абс. % ($p < 0,001$). Наличие в геноме овец аллеля В гена GH ассоциировано с меньшим диаметром шерстного волокна (5,3 и 7,1 %, $p < 0,05$), в сравнении с ярками, не имеющими этот аллель.

8. Расчет экономической эффективности выращивания молодняка овец породы маньчский меринос определил, что от ярок с генотипами GH^{AB} и GH^{BB} , $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$, $GDF9^{AA}$ и $GDF9^{AG}$ получено больше продукции на 4,9...15,0 %, что способствовало увеличению уровня рентабельности – на 5,2...16,0 %.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Для совершенствования продуктивных качеств овец породы маньчский меринос, ускорения селекционного процесса целесообразно: проводить отбор наиболее ценных для селекции животных с желательными аллелями по полиморфизмам с. 255 G>A в гене GH , с.767+200G>A в гене $CAST$, с.397G>A в гене $GDF9$; применять разработанный и запатентованный способ оценки генетического потенциала овец данной породы на основе молекулярно-генетических маркеров (RU № 2776044).

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Поскольку возрастает интерес к поиску генов-маркеров, отвечающих за хозяйственно-ценные характеристики у овец, в этой связи гены соматотропин, кальпастанин и дифференциальный фактор роста перспективны для дальнейшего изучения у разных пород. Кроме того, необходимо разводить животных с высокими показателями мясной продуктивности и, в то же время, по возможности не утратить шерстные качества, что будет способствовать дальнейшему поиску генов, ассоциированных с шерстной продуктивностью овец. Наличие информации об ассоциации полиморфизма генов *GH*, *CAST* и *GDF9* с хозяйственно-ценными признаками продуктивности будут способствовать разработке селекционных программ по совершенствованию овец породы маньчский меринос.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота

MAS – маркер-ассоциированная селекция

ПЦР – полимеразная цепная реакция

ПЦР-ПДРФ – полиморфизм длин рестрикционных фрагментов

SNP – однонуклеотидный полиморфизм

п. н. – пар нуклеотидов

GH – ген гормона роста

CAST – ген кальпастатин

GDF9 – ген дифференциального фактора роста

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдулмуслимов, А.М. Анализ полиморфизма генов CAST, GN и GDF9 у овец дагестанской горной породы / А.М. Абдулмуслимов, А.А. Хожоков, И.С. Бейшова, Ю.А. Юлдашбаев, А.Н. Арилов, С.А. Хататаев // Зоотехния. – 2020. – № 11. – С. 5-8.
2. Абдулмуслимов, А. М. Морфологический состав и физико-химические показатели мяса баранчиков дагестанской горной породы и ее помесей // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2021. – № 3. – С. 35-37.
3. Абонеев, В.В. Методика оценки мясной продуктивности овец / В.В. Абонеев, Ю.Д. Квитко, И.И. Селькин // Методические рекомендации для научных сотрудников, аспирантов, студентов и практических работников в области овцеводства. – Ставрополь: СНИИЖК, 2009. – 36 с.
4. Абонеев, В.В. Приемы и методы повышения конкурентоспособности товарного овцеводства / В.В. Абонеев, Л.Н. Скорых, Д.В. Абонеев // монография. – Ставрополь: Из-во ФГБНУ СНИИСХ. – 2011. – 337 с.
5. Абонеев, В.В. Развитие тонкорунного овцеводства в России / В. В. Абонеев, В. В. Марченко, А. И. Суров, А. А. Пикалов, А. И. Ерохин, Е. А. Карасев // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2012. – №. 2. – С. 6-13.
6. Абонеев, В.В. Мясная продуктивность потомства тонкорунных маток и баранов-производителей различного происхождения / В. В. Абонеев, Н. Г. Чамурлиев, Ю. А. Колосов, В. В. Марченко, Р. П. Ларионов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 2 (50). – С. 193-199.
7. Абонеев, В.В. Повышение эффективности научного обеспечения современного состояния овцеводства России / В. В.

Абонеев, В. В. Марченко, Е. В. Абонеева // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2019. – № 2. – С. 5-9.

8. Афанасьева, А.И. Белковый состав сыворотки крови овец разного генотипа / А.И. Афанасьева, Н.В. Симонова, С.Г. Катаманов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 5. – С. 43-46.

9. Абонеев, В.В. Гистологическое строение кожи и характеристика рун молодняка овец различного происхождения / В. В. Абонеев, Ю. А. Колосов, Н. Г. Чамурлиев, В. В. Марченко, Е. В. Абонеева // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – №. 1 (57). – С. 180-191.

10. Амерханов, Х.А. Из истории российского овцеводства / Х. А. Амерханов, В. И. Трухачев, М. И. Селионова. – Ставрополь: ИП Мокринский Н.С. – 2017. – 408 с.

11. Белик, Н.И. Диаметр и уравненность шерсти по тонине тонкорунных баранов племенных заводов Ставропольского края: Wool diameter and fineness equalization of fine wool rams of the breeding farms in the Stavropol territory / Н. И Белик., В. В.Зелятдинов, Н. А. Юхманова, С. М. Орешникова // Сельскохозяйственный журнал ISSN (Print): 2687-1246, ISSN (Online): 2687-1254. – 2023. – Т. 16. – №. 3.

12. Бобрышов, С.С. Уровень естественной резистентности потомков от производителей австралийской селекции в онтогенезе / С.С. Бобрышов, Л.Н. Скорых, Е.Н. Барнаш // Перспективы и достижения в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию юбилею со дня основания факультета технологического менеджмента (зооинженерного). Ставропольский государственный аграрный университет. – 2015. – С. 22-26.

13. Борисов, Д.Р. Динамика белкового состава сыворотки крови овец на разных стадиях онтогенеза / Д.Р. Борисов // Овцы, козы, шерстяное дело. - 2014. - 4. - С. 26-29.
14. Бородинов, А.Г. Поколения методов секвенирования ДНК (обзор) / А. Г. Бородинов, В. В. Манойлов, И. В. Заруцкий, А. И. Петров, В. Е. Курочкин. // Научное приборостроение. – 2020. – Т. 30. – №. 4. – С. 3-20.
15. Бурсаков, С.А. Некоторые аспекты современных геномных и генно-инженерных технологий в молочном скотоводстве / С. А. Бурсаков, С. Н. Ковальчук // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – №. 9. – С. 22-29.
16. Войтюк, М.М. Современное состояние овцеводства в России / М.М. Войтюк, О.П. Мачнева // Эффективное животноводство. – 2021. – №. 4 (170). – С. 102-105.
17. Гаглоев, А.Ч. Формирование внутренних органов у молодняка овец разного генотипа / А.Ч. Гаглоев, А.Н. Негреева, Ф.А. Мусаев, Т.Э. Щугорева // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2020. – №. 4. – С. 141-147.
18. Гаджиев, З.К. Биохимические показатели крови овец карачаевской породы с разным уровнем отбора / З. К. Гаджиев, Е. А. Киц, Д. В. Волобуев // Сельскохозяйственный журнал. – 2014. – Т. 1. – №. 7. – С. 7-13.
19. Гаджиев, З.К. Полиморфизм гена КАР 1.3 овец разных пород / З.К. Гаджиев, В.А. Погодаев, Е.С. Суржикова, Д.Д. Евлагина // Сельскохозяйственный журнал. 2023. № 4 (16). С.86-95. DOI 10.48612/FARC/2687-1254/009.4.16.2023
20. Гетманцева, Л. В. Влияние полиморфизма генов MC4R, IGF2 и POU1F1 на продуктивные качества свиней: Автореф. канд. с.-х. наук. // Гетманцева Любовь Владимировна. – п. Персиановский. – 2012. – 28 с.

21. Горбачева, М.В. Свойства шерсти овец породы дорсет / М. В. Горбачева, О. А. Стрепетова, Н. Н. Макарова // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2018. – № 4. – С. 34-35.
22. Горлов, И.Ф. Генетическая структура стада по генам GDF9, GN у овец волгоградской и эдильбаевской пород / И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина, Ю.А. Колосов, Н.В. Широкова // Аграрно-пищевые инновации. – 2021. – № 2 (14). – С. 51-59.
23. ГОСТ Р. 52843-2007 Овцы и козы для убоя. Баранина, ягнятина и козлятина в тушах. Технические условия. // М.: Стандартиформ. – 2008.
24. Глазко, Т.Т. ДНК-технологии для повышения мясной продуктивности / Т.Т. Глазко, А.Б. Комаров // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 1. – С. 75–80.
25. Денискова, Т.Е. Идентификация генов-кандидатов, ассоциированных с экономически значимыми признаками, на основе анализа островков гомозиготности в геноме пород овец, разводимых в России / Т.Е. Денискова, А.В. Доцев, Н.А. Зиновьева // Достижения науки и техники АПК. – 2023. – Т. 37, № 9. – С. 80-86. – DOI 10.53859/02352451_2023_37_9_80.
26. Денискова, Т.Е. Изучение генетического разнообразия и популяционной структуры осетинской породы в сравнении с другими породами грубошерстных жирнохвостых овец на основе данных SNP-генотипирования / Т.Е. Денискова, А.В. Доцев, М.И. Селионова, Н.А. Зиновьева // Генетика. – 2023. – Т. 59, № 11. – С. 1270-1281. – DOI 10.31857/S0016675823110048.
27. Денискова, Т.Е. Идентификация генов-кандидатов, связанных с ростом и развитием овец из кроссбредной популяции, с использованием полногеномного поиска ассоциаций / Т.Е. Денискова, О.А. Кошкина, С.Н. Петров, А.А. Сермягин, Н.А. Зиновьева // Аграрная

наука Евро-Северо-Востока. – 2024. – Т. 25, № 2. – С. 236-250. – DOI 10.30766/2072-9081.2024.25.2.236-250.

28. Дмитрик, И.И. Способ гистологической оценки качественных показателей мясной продуктивности овец с учетом морфоструктуры тканей / И. И. Дмитрик, Г. В. Завгородняя, М. И. Павлова. – Ставрополь : Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства, 2010. – 16 с.

29. Дмитрик, И.И. Микроструктурные показатели мяса при межпородном скрещивании и разном уровне кормления / И.И. Дмитрик, М.И. Селионова // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2016. – Т. 2. – №9. – С. 243-247.

30. Дмитрик, И.И. Шерсть овечья. Комплексная оценка рун и товарной массы с измерением основных свойств шерсти в селекционных целях. Методы испытаний : Технологический регламент / И. И. Дмитрик, Г. В. Завгородняя, М. И. Павлова. – Ставрополь : Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр", 2019. – 34 с.

31. Дмитрик, И.И. Качество мяса овец разных генотипов на гистологическом уровне / И.И. Дмитрик, Г.В. Завгородняя, Г.Т. Бобрышова // Сельскохозяйственный журнал. –2020. – № 3 (13). – С. 46-51.

32. Ефимова, Н.И. Шерстная продуктивность потомков от производителей импортной селекции / Н.И. Ефимова, Л.Н. Скорых, И.А. Копылов // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2015. – Т. 2. – № 8. – С. 17-21.

33. Завгородняя, Г.В. Подходы к оценке качественных показателей мясной продукции овец / Г.В. Завгородняя, И.И. Дмитрик,

М.И. Павлова, П.П. Менкнасунов // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2016. – №. 1. – С. 43-44.

34. Завгородняя, Г. В. Основные свойства шерсти овец зарубежной селекции / Г. В. Завгородняя, И. И. Дмитрик, М. И. Павлова, А. М. Айбазов // Сельскохозяйственный журнал. – 2021. – №. 3 (14). – С. 70-77.

35. Карпова, Е.Д. Полиморфизм гена CAST и ассоциация его генотипов с показателями мясной продуктивности овец / Е.Д. Карпова, Е.С. Суржикова, З.К. Гаджиев, И.И. Дмитрик, Г.В. Завгородняя // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 1. – С. 60-63.

36. Кирьянов, Д.А. Особенности экстерьера и продуктивности полутонкорунных ягнят разного происхождения / Д.А. Кирьянов // Фундаментальные и прикладные проблемы повышения продуктивности животных и конкурентоспособности продукции животноводства в современных экономических условиях АПК РФ: материалы Международной научно-практической конференции, Ульяновск, 2015.- Т2.- С.58-60.

37. Кожевников, Ю. А. Автоматизированная технология получения ланолина из овечьей шерсти / Ю. А. Кожевников, М. С. Тургенбаев, А. Н. Русаков // Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса. – 2019. – С. 273-276.

38. Колосов, Ю.А. Биотехнологические методы изучения полиморфизма гена гормона роста / Ю. А. Колосов, Н. В. Кобыляцкий, П. С. Широкова, Л. В. Гетманцева, Н. Ф. Бакоев // Дальневосточный аграрный вестник. – 2017. – Т. 2. – № 42. – С. 82–86.

39. Колосов, Ю.А. Продуктивные качества и гистологическая оценка мышечной ткани помесных мясошерстных овец / Ю.А. Колосов, А.С. Дегтярь // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. – 2014. – Т. 3. – №. 1. – С. 60-66.

40. Колосов, Ю. А. Некоторые исторические и современные аспекты мериносового овцеводства России / Ю. А. Колосов, А. И. Клименко, В. В. Абонеев // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2014. – № 2. – С. 2-4.

41. Колосов, Ю. А. Влияние австралийских мясных мериносов и ставропольских баранов на шерстную продуктивность овец породы советский меринос / Ю. А. Колосов, Н. И. Белик, А. С. Кривко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – №. 102. – С. 959-966.

42. Колосов, Ю. А. Эффективность разведения овец улучшенных генотипов / Ю. А. Колосов, И. В. Засемчук, А. С. Дегтярь, Т. С. Романец // Материалы международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 41-45.

43. Колосов, Ю. А. Использование потенциала интенсивных пород овец для увеличения производства продукции овцеводства / Ю. А. Колосов, А. С. Дегтярь, В. В. Абонеев, В.В. Марченко, В.Н. Василенко, В.Я. Кавардаков, А.Ф. Кайдалов; Под общей редакцией Ю.А. Колосова. – Персиановский : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Донской государственный аграрный университет", 2020. – 234 с.

44. Колосов, Ю. А. Мясная продуктивность овец различных генотипов / Ю. А. Колосов, Н.Г.Чамурлиев, А.С. Дегтярь, Ф.А. Смородин // Известия НВ АУК. – 2022. – Т. 2. – № 66. – С. 196-202.

45. Колосов, Ю.А., Шерстная продуктивность овец породы манычский меринос при разных вариантах подбора / Ю.А. Колосов, В.В. Абонеев, А.Ч. Гаглов, Р.И. Курус, И.В. Засемчук // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (71). – С. 140-144.

46. Колосов, Ю. А. Воспроизводительные качества овец манычского типа породы манычский меринос при разных вариантах подбора / Ю. А. Колосов, В. В. Абонеев, Р. И. Курус, И. В. Засемчук // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2022. – № 2(44). – С. 64-70.

47. Комлацкий, В. И. Проблемы и перспективы развития овцеводства на юге России / В. И. Комлацкий, И. Ф. Горлов, В. А. Бараников, А. А. Мосолов, Е. И. Гишларкаев, Ю. А. Колосов, А. М. Абдулмуслимов, Ю. А. Юлдашбаев, А. П. Каледин // Зоотехния. – 2019. – № 2. – С. 6.

48. Копылов, И.А. Совершенствование породы советский меринос на основе генофонда австралийской селекции и иммуногенетических маркеров : дис. ... канд. биол. наук / Копылов Иван Александрович. – Ставрополь, 2019. – с. 143.

49. Криворучко, А. Ю. Локусы панели генотипирования секвенированием по технологии AgriSeq в породе манычский меринос / А. Ю. Криворучко, А. А. Лиховид, А. А. Каниболоцкая, Т. Ю. Саприкина, М. Ю. Кухарук, О. А. Яцык // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2023. – Т. 24. – №. 5. – С. 849-857.

50. Кузнецов, В. М. F-статистики Райта: оценка и интерпретация / В. М. Кузнецов // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2014. – Т. 4. – С. 80-104.

51. Кузнецов, В. М. Оценка генетической дифференциации популяций молекулярным дисперсионным анализом (аналитический обзор) / В. М. Кузнецов // Аграрная наука евро-северо-востока. – 2021. – Т. 22. – №. 2. – С. 167-187.

52. Кулаков, Б. С. Резервы повышения товарной ценности шерсти / Б. С. Кулаков, В. В. Абонеев // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2012. – № 2. – С. 54.

53. Кубатбеков Т. С. Шерстная продуктивность баранов разных пород / Т. С. Кубатбеков, В. И. Косилов, Е. А. Никонова, С. О. Чылбак-Оол, А. М. Абдулмуслимов, Е. В. Пахомова // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2020. – №. 1. – С. 25-27.

54. Лакота Е. А. Физико-химический состав шерсти помесей I поколения от скрещивания ставропольских овцематок различной тонины шерсти с баранами-производителями породы манычский меринос шерстной линии ЕМ-214 в условиях степного Поволжья // Редакционная коллегия EDITORIAL BOARD. – 2016. – С. 104.

55. Лакота, Е. А. Состояние и тенденции развития тонкорунного овцеводства в Сухо-Степном Поволжье / Е. А. Лакота // Научное обозрение. Биологические науки. – 2022. – № 4. – С. 91-95. – DOI 10.17513/srbs.1299.

56. Лушников, В. П. Биохимические показатели крови овец разных пород, выращенных в разных природно-климатических зонах / В. П. Лушников, И. А. Сазонова, С. В. Шпуль // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2013. – №. 4. – С. 17-19.

57. Лушников, В.П. Полиморфизм генов соматотропина (GH), кальпастина (CAST), дифференциального фактора роста (GDF 9) у овец татарстанской породы / В.П. Лушников, Т.О. Фетисова, М.И. Селионова, Л.Н. Чижова, Е.С. Суржикова // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2020. – № 1. – С. 2-4.

58. Максимов, А. Г. Воспроизводительные качества и генотипирование свиней в условиях фермерского хозяйства / А. Г. Максимов, Н. А. Максимов // Селекция и технология производства продукции животноводства. – 2021. – С. 22-25.

59. Марченко В. В. Создание новых линий в породе овец «Манычский меринос» // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2017. – №. 6. – С. 81-84.

60. Меркурьева, Е.К. // Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных [Текст] : [Для зоотехн. вузов и фак.]. - Москва : Колос. –1970. – 424 с.

61. Михайленко. Т. Н. Биохимический профиль крови молодняка овец разных вариантов родительского подбора / Т. Н. Михайленко, Г. Н. Шарко, А. А. Омаров // Новости науки в АПК. – 2018. – №. 2-1. – С. 407-410.

62. Ольховская, Л.В. Биохимический полиморфизм в селекции коз / Л.В. Ольховская, В.В. Абонеев // Ставрополь: РАСХН ГНУ СНИИЖК, 2007. – 189 с.

63. Онищенко, О.Н. Полиморфизм генов CAST и GH у баранов-производителей породы российский мясной меринос / О.Н. Онищенко, Е.Н. Чернобай, Е.С. Суржикова, С.Н. Шумаенко // Зоотехния. – 2022. – № 5. – С. 16-18.

64. Остапчук, П. С. Биохимические показатели и бактерицидность крови молодняка овец цигайской породы / П. С. Остапчук, О. Н. Постникова, Д. В. Зубоченко, Е. Н. Усманова, Т. А. Куевда, А. В. Пихтерева // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2023. – Т. 53. – №. 5. – С. 79-89.

65. Патент № 2776044 С1 Российская Федерация, МПК А01К 67/02. Способ оценки генетического потенциала овец породы маньчжунский меринос на основе молекулярно-генетических маркеров : № 2021134831 : заявл. 29.11.2021 : опубл. 12.07.2022 / Л. Н. Скорых, А. И. Суров, А. В. Суховеева, Е.С. Суржикова, А.В. Скокова, В.Г. Евлагин, Д.Е. Белов; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр".

66. Плахтюкова, В.Р. Полиморфизм генов кальпаина и соматотропина у крупного рогатого скота казахской белоголовой породы и его связь с показателями продуктивности: автореф. дисс. канд.

биол. наук: 06.02.07 / Плахтюкова Виктория Романовна. – Ставрополь, 2020. – 22 с.

67. Плохинский, Н.А. Биометрия: Учебное пособие для студентов биол. специальностей университетов. - 2-е изд. - Москва : Изд-во Московского университета. - 1970. – 367 с.

68. Погодаев, В.А. Полиморфизм генов кальпастина и соматотропина у овец калмыцкой курдючной породы и помесей ($\frac{1}{2}$ калмыцкая курдючная + $\frac{1}{2}$ дорпер) / В.А. Погодаев, Л.В. Кононова, Б.К. Адучиев // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 3 (47). – С. 141-145.

69. Погодаев, В. А. Анализ полиморфизма генов CAST, GH и GDF9 у овец калмыцкой курдючной породы и помесей / В. А. Погодаев, Н. В. Сергеева // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов : Сборник докладов V Международной научно-практической конференции, Курск, 21–23 июня 2023 года. – Курск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Курский федеральный аграрный научный центр", 2023. – С. 611-616.

70. Погодаев, В. А. Ассоциации полиморфизма генов CAST, GH у молодняка овец кровностью $\frac{1}{2}$ шароле + $\frac{1}{2}$ калмыцкая курдючная с промерами статей тела и индексами телосложения / В. А. Погодаев, Е. С. Суржикова, Д. Д. Евлагина, А. Н. Арилов // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 12. – С. 122-128.

71. Погодаев, В. А. Полиморфизм комплексных генотипов генов CAST, GH, GDF9 у баранов породы шароле и молодняка с кровностью $\frac{1}{2}$ калмыцкая курдючная \times $\frac{1}{2}$ шароле в зависимости от живой массы и экстерьерных показателей / В. А. Погодаев, Е. С. Суржикова, Д. Д. Евлагина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5(103). – С. 332-339.

72. Пономаренко, О. В. Влияние стресс-фактора на физиолого-биохимические параметры суягных овец и продуктивные качества потомства / О.В. Пономаренко, Е.Н. Чернобай, В.И. Гузенко, В.И. Коноплев, А.П. Мариныч // Вестник АПК Ставрополя. – 2014. – №4. – С.140-145.

73. Сафарян Е. Ю. Взаимосвязь полиморфизма генов MYOD1 И MSTN с мясной продуктивностью у овец породы манычский меринос / Е. Ю. Сафарян, О. А. Яцык // Современные достижения и проблемы генетики и биотехнологии в животноводстве: Материалы междунар. науч. конф., посвященной 90. – 2019. – С. 173.

74. 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.

75. Сафонова, Н.С. Связь полиморфизма в генах GH и LEP с признаками мясной продуктивности у овец породы советский меринос / Н.С. Сафонова, Л.Н. Скорых, Н.И. Ефимова // В сборнике: Перспективные разработки молодых ученых в области ветеринарии, производства и переработки сельскохозяйственной продукции. сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции для студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2022. – С. 15-19.

76. Сафонова, Н. С. Полиморфизм генов миостатина, соматотропина, лептина и их связь с показателями продуктивности у овец: специальность 06.02.07 "Разведение, селекция и генетика сельскохозяйственных животных" : диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Сафонова Надежда Сергеевна, 2022. – 137 с.

77. Селионова, М.И. Перспективы использования геномных технологий в селекции овец (аналитический обзор) / М.И. Селионова,

М.М. Айбазов, Т.В. Мамонтова // Сельскохозяйственный журнал. – 2014. – №7. – С. 107-112.

78. Селионова, М.И. Современное состояние овцеводства России и его научное обеспечение / М.И. Селионова, В.А. Багиров // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. – 2014. – Т. 3. – № 7. – С. 11-20

79. Селионова, М.И. Эффективное научное обеспечение производства продукции отечественного овцеводства и козоводства - достойный ответ на глобальные вызовы современности / М.И. Селионова // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2015. – № 1. – С. 2-5.

80. Селионова, М. И. Концептуальные подходы к инновационному развитию овцеводства / М. И. Селионова // Информационный бюллетень Национального союза овцеводов. – 2015. – № 2(10). – С. 47-53.

81. Селионова, М.И. Геномная селекция в овцеводстве / М.И. Селионова, Л.Н. Скорых, И.О. Фомина, Н.С. Сафонова // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2017. – Т. 1. – № 10. – С. 275-280.

82. Селионова, М.И. Полиморфизм генов CAST, GH, GDF9 овец горно-алтайской породы / М.И. Селионова, Л.Н. Чижова, Е.С. Суржикова, Н.А. Подкорытов, А.Т. Подкорытов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2020. – Т. 50. – № 1. – С. 92–100.

83. 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 Ставрополья. – 2019. – № 3 (35). – С. 25-29

84. Семенченко, С.В. Технологические и органолептические показатели мяса помесных овец / С.В. Семенченко, А.С. Дегтярь // Инновации в науке. – 2014. № 31-1. – С. 103-109.

85. Сенина, Р.Ю. Полиморфизм гена KRT1.2 у отечественных пород овец / Р.Ю. Сенина, Л.А. Калашникова, В.П. Лушников, М.Б. Павлов // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2018. – № 3. – С. 20-23.

86. Сердюков, И.Г. Рост и развитие баранчиков породы джалгинский меринос с различной тониной шерстного волокна / И.Г. Сердюков, В.В. Абонеев, М.Б. Павлов, А.М. Павлов // Главный зоотехник. – 2016. – № 5. – С. 52-59.

87. Сидорцов, В.И. Методика комплексной оценки рун племенных овец разных направлений продуктивности (тонкорунных и полутонкорунных пород) // В.И. Сидорцов, С.Ф. Павлюк, О.Б. Санькова – Ставрополь, ВНИИОК. – 1991. – 29 с.

88. Скорых, Л.Н. Методы и приемы рационального использования генетического потенциала баранов-производителей отечественной и импортной селекции в товарном овцеводстве: дисс. докт. биол. наук: 06.02.07 / Скорых Лариса Николаевна. – Ставрополь, 2013. – 326 с.

89. Скорых, Л.Н. Биохимические параметры крови нового создаваемого типа скороспелых овец при разных технологиях выращивания / Л.Н. Скорых, А.А. Омаров // Новая наука: От идеи к результату. – 2016. – №1— 3. – С. 7-9.

90. Скорых, Л.Н. Полиморфизм генов гормона роста (GH) и кальпастина (CAST) у мясошерстных овец / Л.Н. Скорых, И.О. Фомина, Е.С. Суржикова, Д.В. Коваленко // Главный зоотехник. – 2020. – № 7. – С. 6-11.

91. Скорых, Л.Н. Полиморфизм гена соматотропина и его взаимосвязь с показателями роста у мясо-шерстных овец / Л.Н. Скорых, И.О. Фомина, Д.В. Коваленко // Зоотехния. – 2020. – № 10. – С. 6-8.

92. 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.

93. Скорых, Л. Н. Ассоциация полиморфизма гена *GH* с показателями качества мяса у мясошерстных овец / Л. Н. Скорых, И. О. Фоминова, А. В. Скокова, И. И. Дмитрик // Главный зоотехник. – 2022. – № 8(229). – С. 31-38. – DOI 10.33920/sel-03-2208-04. – EDN GMVFKB.

94. Скорых, Л. Н. Аллельные и генотипические варианты полиморфизма генов *GH*, *GDF9* у овец породы маньчский меринос / Л.Н. Скорых, А.В. Суховеева, Е.С. Суржикова // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2022. – № 2. – С. 22-25. – DOI 10.26897/2074-0840-2022-2-22-25.

95. Скорых, Л.Н. Молекулярно-генетические методы в селекции мясо-шерстных овец / Л.Н. Скорых, И.О. Фоминова, Н.С. Сафонова, А.А. Омаров, А.В. Скокова // Методическое пособие. Ставрополь, 2022. – 143 с.

96. Скорых, Л.Н. Ассоциация между полиморфизмом генов гормона роста и лептина с параметрами мясной продуктивности у северокавказской мясо-шерстной породы овец / Л.Н. Скорых, А.В. Скокова, А.А. Омаров, И.И. Дмитрик, Н.С. Сафонова // Вестник АПК Ставрополья. – 2023. – № 1 (49). – С. 33-36.

97. Скорых, Л. Н. Полиморфизмы генов *GH* и *GDF9*, ассоциированные с показателями роста у овец породы маньчский меринос / Л. Н. Скорых, А. В. Суховеева, А. В. Скокова, Н.И. Ефимова, Л.В. Кононова // Ветеринария и кормление. – 2023. – № 5. – С. 73-77.

98. Скорых Л. Н. Ассоциация однонуклеотидных полиморфизмов в генах *GH*, *CAST* с убойными качествами у овец породы маньчский меринос / Л. Н. Скорых, А. В. Суховеева, А. В. Скокова, С. С. Бобрышов // Животноводство и кормопроизводство. – 2023. – Т. 106, № 4. – С. 57-67. – DOI 10.33284/2658-3135-106-4-57. – EDN VFRWVC.

99. Соловьев, С. А. Повышение качества при первичной обработке невыттой овечьей шерсти / С. А. Соловьев, М. С. Тургенбаев, А. Н. Русаков, А. В. Амшоков // Вестник ВИЭСХ. – 2017. – №. 3. – С. 105-109.

100. Суров, А.И. Исследование полиморфизма генов соматотропина, кальпастина, дифференциального фактора роста у овец породы маньчский меринос / А.И. Суров, Л.Н. Скорых, А.В. Суховеева, Е.С. Суржикова // Зоотехния. – 2022. – № 4. – С. 17-20.

101. Суховеева, А.В. Влияние однонуклеотидных полиморфизмов генов GH, CAST и GDF9 на показатели мясной продуктивности овец / А.В. Суховеева, Л.Н. Скорых // В сборнике: Инновационные технологии в сельском хозяйстве, ветеринарии и пищевой промышленности. сборник научных статей по материалам 86-й международной научно-практической конференции «Аграрная наука – Северо-Кавказскому федеральному округу». – 2021. – С. 119-123.

102. Суховеева, А. В. Генетическая структура овец породы маньчский меринос по гену кальпастина / А. В. Суховеева // Биотехнология: взгляд в будущее : Материалы VIII международной научно-практической конференции, Ставрополь, 20 мая 2022 года. – Ставрополь: Ставропольский государственный медицинский университет, 2022. – С. 124-127.

103. Суховеева, А. В. Полиморфизм генов гормона роста и дифференциального фактора роста у ярок породы маньчский меринос / А. В. Суховеева, Л. Н. Скорых // Инновационные технологии в сельском хозяйстве, ветеринарии и пищевой промышленности : сборник научных статей по материалам 87-й международной научно-практической конференции «Аграрная наука – Северо-Кавказскому федеральному округу», Ставрополь, 20 мая 2022 года / ФГБОУ ВО «СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ

УНИВЕРСИТЕТ». – Ставрополь: Ставропольский гос. аграрный ун-т. – 2022. – С. 96-101.

104. Суховеева, А. В. Связь полиморфизма гена кальпастина с показателями роста у ярок породы маньчский меринос / А. В. Суховеева // Инновационные технологии в науке: управление качеством, метрологическое обеспечение, новые подходы и цифровизация производства в сфере АПК : Сборник научных материалов I Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к Всемирному дню метрологии, Саратов, 28 апреля 2023 года. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2023. – С. 670-675.

105. Сычева, И. Н. Свойства шерсти овец Волгоградской породы с разным цветом жиропота / И. Н. Сычева // Селекционные и технологические аспекты интенсификации производства продукции овец и коз. – 2019. – С. 140-142.

106. Телегина Е. Ю. Сравнительная оценка морфометрических показателей овец ставропольской породы и породы маньчский меринос / Е. Ю. Телегина, А. Ю. Криворучко, О. А. Яцык // Аграрный вестник Урала. – 2018. – №. 2 (169). – С. 40-45.

107. Траисов, Б.Б. Технология ведения овцеводства в крестьянских, фермерских и личных подсобных хозяйствах / Б.Б. Траисов, А.М. Омбаев, А.И. Ерохин, М.И. Селионова, Л.Н. Скорых, Ю.А. Юлдашбаев, С.Р. Османов, У.Б. Таубаев, К.Г. Есенгалиев, Т.Н. Траисова. Уральск. – 2015. – 98 с.

108. Траисов, Б.Б. Физико-механические свойства шерсти полутонкорунных овец / Б.Б. Траисов, Ю.А. Юлдашбаев, К.Г. Есенгалиев, Т.С. Кубатбеков, Г.С. Жамалова, А.А. Худайбердиев // Вестник Ошского государственного университета. – 2021. – № 1-2. – С. 454-461.

109. Траисов, Б. Б. Морфологические и биохимические показатели крови полутонкорунных овец / Б. Б. Траисов, И. С. Бейшова, Ю. А. Юлдашбаев, В. И. Косилов, Е. А. Никонова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – №. 2 (94). – С. 315-319.

110. Тузова, Ю. А. Современное развитие генетики в России / Ю. А. Тузова, А. Р. Пудченко // Лучшие научные исследования. – 2024. – С. 29-31.

111. Улимбашев, М.Б. Рациональное использование генофонда ценных пород животных с целью сохранения биологического разнообразия / М.Б. Улимбашев, В.В. Кулинцев, М.И. Селионова, Р.А. Улимбашева, Б.Т. Абилов, Ж.Т. Алагирова // Юг России: экология, развитие. – 2018. – №. 2. – С. 165-183.

112. Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу. Статистика. Официальная статистика. Ставропольский край. – URL : <https://26.rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 14.04.2024).

113. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела. – URL : https://vniiplem.com/wp-content/uploads/2023/07/Ежегодник_2023.pdf. (дата обращения: 14.04.2024).

114. Федеральный центр развития экспорта продукции АПК Минсельхоза России. Сервисы и статистика. Рейтинг регионов. – URL : <https://aemcx.ru/> (дата обращения: 14.04.2024).

115. Федоренко, В.Ф. Передовые практики в отечественном племенном животноводстве / В.Ф. Федоренко, Н.П. Мишуров, Т.Н. Кузьмина, А.И. Тихомиров, С.В. Гуськова, И.Ю. Свиначев, В.А. Бекенев., Ю.А. Колосов, В.И. Фролова, И.В. Большакова // Научный аналитический обзор. – Москва. – 2018.

116. Фомина, И.О. Исследование полиморфизма гена кальпастатина у мясошерстных овец / И.О. Фомина // Вестник Ошского государственного университета. – 2021. – Т. 1. – №. 2. – С. 476-482.

117. Фомина, И.О. Особенности формирования мясной продуктивности мясо-шерстных овец в зависимости от полиморфизма генов соматотропина и кальпастатина : дис. ... канд. биол. наук / Фомина Ирина Олеговна // – Ставрополь, 2022. – 138 с.

118. Халина, О.Л. Генетическая структура овец западно-сибирской мясной и кулундинской тонкорунной пород по генам CAST, GDF9 и KRT1.2 / О. Л. Халина, С. Н. Магер, Г. М. Гончаренко, Т.С. Хорошилова, Н. Б. Гришина // Известия ТСХА. – 2022. – №4.

119. Чернобай, Е.Н. Теоретические основы и практические результаты совершенствования селекционно-генетических методов повышения продуктивности тонкорунных пород овец Северного Кавказа : специальность 06.02.07 "Разведение, селекция и генетика сельскохозяйственных животных" : диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Чернобай Евгений Николаевич, 2019. – 308 с.

120. Чернобай, Е.Н. Продуктивность овец породы манычский меринос в зависимости от возраста / Е. Н. Чернобай, О. Н. Онищенко, В. И. Коноплев // Повышение производства продукции животноводства на современном этапе : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию кафедры частного животноводства, г. Витебск, 2-4 ноября 2022 г. / Витебская государственная академия ветеринарной медицины. – Витебск : ВГАВМ, 2022. – С. 237–240.

121. Чернобай, Е.Н. Эффективность выращивания овец породы манычский меринос разных генотипов / Е. Н. Чернобай, О. Н. Онищенко, Н. И. Ефимова // Инновационное развитие

агропромышленного, химического, лесного комплексов и рациональное природопользование. – 2022. – С. 151-154.

122. Чиждова, Л.Н. Руководство по определению резистентности у овец / Л.Н. Чиждова, А.К. Михайленко, Л.В. Ольховская, С.Ф. Силкина, Н.Г. Марутянц, Е.Н. Барнаш, А.В. Скокова, Г.Н. Шарко, С.В. Криворучко, В.Ю. Ромахова // Методические рекомендации для научных сотрудников, зооветспециалистов, работников племобъединений, аспирантов, студентов биологических факультетов ВУЗов. – Ставрополь: СНИИЖК, 2013. – 25 с.

123. Шевхужев, А.Ф. Селекционно-генетические и технологические методы повышения продуктивности мясного скота : монография / А.Ф. Шевхужев, В.А. Погодаев, Л.Н. Скорых. – Ставрополь : ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» ; изд-во «Ставрополь-Сервис-Школа», 2023. – 196 с.

124. Широкова, Н. В. Генетическое детерминирование плодовитости овец / Н. В. Широкова // Молодой ученый. – 2013. – № 6. – С. 785–787.

125. Широкова, Н.В. Хозяйственно-биологические особенности и рациональное использование овец разного генетического потенциала при производстве и переработке баранины в условиях Юга России: автор. дисс. докт. биол. наук: 06.02.10 / Широкова Надежда Васильевна. – Волгоград, 2020. – 42 с.

126. Широкова, Н.В. Мясная продуктивность овец эдильбаевской породы разных генотипов по гену CAST / Н.В. Широкова, И.Г. Казарова // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (71). – С. 170-173.

127. Шичкин, Г.И. Овцеводство России и его племенные ресурсы по состоянию на 31.12.2022 года / Г. И. Шичкин, Г. Ф. Сафина, Х. А. Амерханов, В.В. Чернов, Л.Н. Григорян, Г.Н. Хмелевская, С.А.

Хататаев, А.В Равичева., Н.Г. Степанова // Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации: 2022 год. – Лесные Поляны : ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», 2023. – С. 317.

128. Яковенко, А.М. Эффективный метод повышения конкурентоспособности овцеводства / А.М. Яковенко, В.В. Абонеев, Л.Г. Горковенко, В.В. Марченко – Текст: непосредственный // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2016. – № 2. – С. 25-27.

129. Яцык, О.А. Сравнительная оценка показателей мясной продуктивности мериносовых овец российских пород / О.А. Яцык // Вестник Курганской ГСХА. – 2017. – № 3 (23). – С. 58-60.

130. Яцык, О.А. Полиморфизм гена миостатина (MSTN) у овец породы маньчжурский меринос / О. А. Яцык, Е. Ю. Телегина // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2017. – №. 3. – С. 47-53.

131. Яцык, О.А. Полиморфизм гена миостатина и его связь с показателями мясной продуктивности у мериносовых овец: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук: 06.02.07 / Яцык Олеся Андреевна. - Ставрополь, 2018. – 142 с.

132. Abdelmoneim, T.S., Sequencing of growth hormone gene for detection of polymorphisms and their relationship with body weight in Harri sheep / T. S. Abdelmoneim, P. H. Brooks, M. Afifi, A. A. A. Swelum // Indian Journal of Animal Research. – 2017. – Т. 51. – №. 2. – P. 205-211.

133. Aboelenin, M.M. Association of Genetic Polymorphisms of POU1F1 Gene on Twin Production in Egyptian Sheep and Goats / M. M. Aboelenin, H. R. Darwish, M. G. Eshak, I. M. Farag // Jordan Journal of Biological Sciences. – 2022. – Т. 15. – №. 5.

134. Abramova, M. V. Breeding characteristics of Romanov sheep depending on polymorphism of growth hormone gene / M. V. Abramova, A. V. Ilina, M. S. Barysheva, J. I. Malina, E. G. Evdokimov // RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. – 2022. – Т. 17. – №. 4. – С. 514-526.

135. Adrian, R.J. Laser techniques applied to fluid mechanics: selected papers from the 9th international symposium lisbon, portugal, July 13–16, 1998 / R. J. Adrian, D. F. Durão, F. Durst, M. V. Heitor, M. Maeda, J. H. Whitelaw (ed.).– Springer Science & Business Media. – 2012.

136. Ahmadi, A. Investigation of GDF9 and BMP15 polymorphisms in Mehraban sheep to find the missenses as impact on protein / A. Ahmadi, F. Afraz, R. Talebi, A. Farahavar, S.M.F. Vahidi // Iran Journal Applied Animal Sciences. 2016.6:863–87.

137. Akhatayeva, Z. Detecting novel Indel variants within the GHR gene and their associations with growth traits in Luxi Blackhead sheep / Z. Akhatayeva, H. Li, C. Mao // Animal Biotechnology. 2020. P. 1-9. DOI: 10.1080/10495398.2020.1784184

138. Aljubouri, T. R. S. The identification of a novel SNP in the resistin (RETN) gene associated with growth traits in Karakul and Awassi sheep / T. R. S. Aljubouri, M. B. S. Al-Shuhaib // Tropical Animal Health and Production. – 2023. – T. 55. – №. 3. – P. 1-12.

139. Al-Hadithy, H.A.H. Estimation of Serum Liver Enzymes Activities in Awassi Sheep / H.A.H. Al-Hadithy, N.M. Badawi1, M.M. Mahmood // The Iraqi Journal of Veterinary Medicine. – 2013. – V. 37. – №. 1. – pp. 115-120.

140. Argente, M. J. Major components in limiting litter size // Insights from Animal Reproduction; Payan Carreira, R., Ed.; InTech: London, UK. – 2016. – P. 87-114.

141. Barroso, A. T. Factors affecting lung function: a review of the literature / A. T. Barroso, E. M. Martín, L. M. R. Romero, F. O. Ruiz // Archivos de Bronconeumología (English Edition). – 2018. – T. 54. – №. 6. – C. 327-332.

142. Bayraktar, M., Estimation of the associations between GH and DGAT1 genes and growth traits by using decision tree in Awassi sheep / M.

Bayraktar, O. Shoshin // *Animal Biotechnology*. – 2022. – Т. 33. – №. 1. – P. 167-173.

143. Bayraktar, M. Identification of two novel SNPs in the myocyte enhancer factor 2B (MEF2B) gene and its association with growth traits in two breeds of Turkish sheep / M. Bayraktar, M. Durmuş, M. B. S. Al-Shuhaib // *Small Ruminant Research*. – 2023. – Т. 218. – С. 106867.

144. Bhat, S.A. Hematological and Biochemical Parameters of Kashmiri Goats in Different Climatic Conditions / S.A. Bhat, R. Manzoor Mir, S. Qadir // *I. J. AVMS*. – 2011. – V. 5. – P. 181-187

145. Bozhilova-Sakova, M. PCR-RFLP analysis of three genes associated with meat productivity in Il de France sheep breed / M M. Bozhilova-Sakova, I. Dimitrova // *ЖИВОТНОВЪДНАТА НАУКА–ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА И ИНОВАЦИИ*. – 2017. – Т. 1. – P. 332.

146. Cheng W. Marbling analysis for evaluating meat quality: Methods and techniques / W. Cheng, J. H. Cheng, D. W. Sun, H. Pu // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2015. – Т. 14. – №. 5. – С. 523-535.

147. Cheng-Li, L. Advances of MSTN genetic markers in domesticated animals / L. Cheng-Li, E. Guang-Xin, W. N. Wei, W. Xiao, C. Shu-Zhu, G. Ze-Hui, H. Yong-Fu // *Indian Journal of Animal Research*. – 2023. – Т. 57. – №. 2. – P. 147-152.

148. Cheng, Z. Effect of g. 46547645T>G Locus of GDF9 Gene on Promoter Activity and Litter Size of Mongolia Sheep (*Ovis aries*) / Z. Cheng, D. Lu, J. Liu, Y. Li, X. Zhang, L. Chao, M. Cang, J. Wang, H. Yu, G. Li. *Journal Agriculture Biotechnology*. –2021. – 29. – P. 540–549.

149. Chernobai, E.N. Meat Productivity and Exterior Features of Russian Meat Merino Sheep of Linear Origin / E.N. Chernobai, O.N. Onischenko, V.I. Konoplev, L. P. Semkiv // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – IOP Publishing, 2021. – V. 852. – №. 1. – P. 012014.

150. Dimitrova, I. Study of some genes associated with meat productivity in Karnobat Merino sheep breed using PCR-RFLP / I. Dimitrova, M. Bozhilova-Sakova, M. Iliev // *Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*. – 2017. – T. 10. – №. 8. – C. 61-5.

151. Dong, Z. H. Correlation Analysis of Estrogen Receptor Gene Polymorphism and Growth Traits in Meat Quail (*Coturnix coturnix*) / Z. H. Dong J. Y. Bai, X. P. Jia, Y. Lei, H. Cao, Y. B. Yang, G. L. Li– 2021.

152. Gajewska, J. Are omentin rs2274907 and vaspin rs2236242 gene polymorphisms related to body composition, lipid profile and other adipokines in prepubertal healthy children? / J. Gajewska, A. Kuryłowicz, E. Mierzejewska, J. Ambroszkiewicz, M. Chełchowska, H. Weker, M. Puzianowska-Kuźnicka // *Endocrine Research*. – 2020. – T. 45. – №. 1. – C. 24-31.

153. Gao, N. Weighted single-step GWAS identified candidate genes associated with semen traits in a Duroc boar population / N. Gao, Y. Chen, X. Liu, Y. Zhao, L. Zhu, A. Liu, Y. Chen // *BMC genomics*. – 2019. – T. 20. – C. 1-10.

154. Gao, Y. Global existence of solutions to a tear film model with locally elevated evaporation rates / Y. Gao, H. Ji, J. G. Liu, T. P. Witelski // *Physica D: Nonlinear Phenomena*. – 2017. – T. 350. – C. 13-25.

155. Gao, Y. Association between novel variants in *BMPR1B* gene and litter size in Mongolia and Ujimqin sheep breeds / Y. Gao, Q. Hao, M. Cang, J. Wang, H. Yu, Y. Liu, B. Tong // *Reproduction in Domestic Animals*. – 2021. – T. 56. – №. 12. – C. 1562-1571.

156. Gao, Y. Association Between Polymorphisms in *B4GALNT2* Gene and Litter Size in Mongolia Sheep and Ujimqin Sheep (*Ovis aries*) / Y. Gao, J. Wang, L. Chao, M. Cang, H. Yu, J. Wang, S. Bao, Y. Liu, W. Zhang, Q. Ma // *Journal Agriculture Biotechnology*. – 2022. – 30. – P. 1510–1523.

157. Gavran, M. Candidate genes associated with economically important traits of sheep-a review / M. Gavran, Z. Antunović, V. Gantner // *Agriculturae Conspectus Scientificus*. – 2021. – T. 86. – №. 3. – P. 195-201.
158. Gebreselassie G. Review on Genomic Regions and Candidate Genes Associated with Economically Important Production and Reproduction Traits in Sheep (*Ovis aries*) / G. Gebreselassie, H. Berihulay, L. Jiang, Y. Ma // *Animals*. – 2020. – 10 (1): 33. doi: 10.3390/ani10010033.
159. Gholizadeh, M. Meta-analysis of genome-wide association studies for litter size in sheep / M. Gholizadeh, S. M. Esmaeili-Fard // *Theriogenology*. – 2022. – T. 180. – C. 103-112.
160. Gong, Y. Association Analyses between Single Nucleotide Polymorphisms in ZFAT, FBN1, FAM184B Genes and Litter Size of Xinggao Mutton Sheep / Y. Gong, Q. Chen, X. He, X. Wang, X. He, Y. Wang, R. Di // *Animals*. – 2023. – T. 13. – №. 23. – C. 3639.
161. Greguła-Kaniaa, M. Association of CAST gene polymorphism with carcass value and meat quality in two synthetic lines of sheep / M. Greguła-Kaniaa, T.M. Gruszeckia, A. Junkuszewa, E. Juszczyk-Kubiakbc, M. Florek // *Meat Science*. – 2019. – T. 154. – P. 69-74.
162. Grover, A. Development and use of molecular markers: past and present. / A. Grover, P. C. Sharma // *Critical reviews in biotechnology*. – 2016. – Vol. 36. – № 2. – P. 290–302.
163. Guo, R. Efficient and Specific Generation of MSTN-Edited Hu Sheep Using C-CRISPR / R. Guo, H. Wang, C. Meng, H. Gui, Y. Li, F. Chen, S. Cao // *Genes*. – 2023. – T. 14. – №. 6. – C. 1216.
164. Guo X. Effects of the Expressions and Variants of the CAST Gene on the Fatty Acid Composition of the Longissimus Thoracis Muscle of Grazing Sonid Sheep / X. Guo, T. Li, D. Lu, T. Yamada, X. Li, S. Bao, B. Tong // *Animals*. – 2023. – T. 13. – №. 2. – C. 195.
165. Hamed, Amirpour Najafabadi / Identification of polymorphisms in the oocyte-derived growth differentiation growth factor 9 (GDF9) gene

associated with litter size in New Zealand sheep (*Ovis aries*) breeds // *Reproduction Domestic Animal*. – 2020. – №11. – P. 1585-1591.

166. Heather J. M. The sequence of sequencers: The history of sequencing DNA / J. M. Heather, B. Chain // *Genomics*. – 2016. – T. 107. – №. 1. – C. 1-8.

167. Hohmann, N. How does a single cell know when the liver has reached its correct size? / N. Hohmann, W. Weiwei, U. Dahmen, O. Dirsch, A. Deutsch, A. Voss-Böhme // *PloS one*. – 2014. – T. 9. – №. 4. – C. e93207.

168. Hossain, F. Association of GDF9 gene polymorphisms with litter size in indigenous sheep of Bangladesh / F. Hossain, S.A. Suma, M.S.A. Bhuiyan // *Research in Agriculture Livestock and Fisheries*. – 2020. – 7(2). – P. 283-292.

169. Ibeagha-Awemu, E.M. Critical analysis of production-associated DNA polymorphisms in the genes of cattle, goat, sheep, and pig / E.M. Ibeagha-Awemu, P. Kgwatalala, X.A. Zhao // *Mammalian Genome*. – 2008. – V. 19. – №. 9. – P. 591-617.

170. Iovenko, V. Genetic diversity and population structure of breeds of Askanian sheep by analysing polymorphisms in qualitative trait loci / V. Iovenko, Y. Vdovychenko, N. Pysarenko, K. Skrepets, I. Hladii // *Agricultural Science and Practice*. – 2020. – 7(1). – P. 3-13. DOI: <https://doi.org/10.15407/agrisp7.01.003>.

171. Jawasreh, K. I. Association between *MspI* calpastatin gene polymorphisms, growth performance, and meat characteristics of Awassi sheep / K. I. Jawasreh, R. Jadallah A. Al-Amareen // *Indian J. Anim. Sci.* – 2017. – V. 87. – P. 635–639.

172. Jiang, C. Embryonic ablation of neuronal VGF increases energy expenditure and reduces body weight / C. Jiang, W. J.Lin, M. Sadahiro, A. C. Shin, C. Buettner, S. R. Salton // *Neuropeptides*. – 2017. – T. 64. – C. 75-83.

173. Jiang, J. The GWAS analysis of body size and population verification of related SNPs in Hu sheep / J. Jiang, Y. Cao, H. Shan, J. Wu, X. Song, Y. Jiang // *Frontiers in genetics*. – 2021. – Т. 12. – С. 642552.

174. Карпова, Е. Д. . Полиморфизм гена CAST и ассоциация его генотипов с показателями мясной продуктивности овец / Е. Д. Карпова Е. S. Surzhikova, Z. K. Gadzhiev, I. I. Dmitrik, G. V. Zavgorodnyaya // *The Agrarian Scientific Journal*. – 2022. – №. 1. – С. 60-63.

175. Kobschull J. M. Sources of PCR-induced distortions in high-throughput sequencing data sets / Kobschull J. M., Zador A. M. // *Nucleic acids research*. – 2015. – Т. 43. – №. 21. – С. e143-e143.

176. Kemp, C.M. The effects of CAPN1 gene inactivation on skeletal muscle growth, development, and atrophy, and the compensatory role of other proteolytic systems / C.M. Kemp, W.T. Oliver, T.L. Wheeler, A.H. Chishti, M. Koohmaraie // *Journal of Animal Science*. – 2013. – 91. – P.3155-3167.

177. Khodabakhshzadeh, R. Identification of point mutations in exon 2 of GDF9 gene in Kermani sheep / R. Khodabakhshzadeh, M.R. Mohamadabadi, A.K. Esmailizadeh, H. Moradi Shahrebabak, F. Bordbar // *Pol J Vet Sci*. – 2016. – №19. – p.281-289.

178. Kolosov, Yu. A. Increasing the meat productivity of lambs by crossing merino ewes and smoothkosh sheep / Yu. A. Kolosov, N. G. Chamurliev, A. S. Degtyar, S. V. Degtyar // *Proceedings of nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. – 2019. – № 4 (56). – P.135-140.

179. Kominakis, A. Combined GWAS and ‘guilt by association’-based prioritization analysis identifies functional candidate genes for body size in sheep / A. Kominakis, A. L. Hager-Theodorides, E. Zoidis, A. Saridaki, G. Antonakos, G. Tsiamis // *Genetics Selection Evolution*. – BioMed Central, 2017. – Vol. 49. – № 1. – P. 41.

180. Kononova, L.V. Genealogical lines of breeding mares as biological resources of a thoroughbred horse breed bred in the Stavropol krai

/ L.V. Kononova, E.A. Vasilev, I.G. Rachkov, S.N. Plotnikov // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production". – 2021. – P. 012101.

181. Lamb, H. J. The future of livestock management: a review of real-time portable sequencing applied to livestock / H. J. Lamb, B. J. Hayes, L. T. Nguyen, E. M. Ross // *Genes*. – 2020. – Т. 11. – №. 12. – С. 1478.

182. Lewis, J. E. Hypothalamic over-expression of VGF in the Siberian hamster increases energy expenditure and reduces body weight gain / J. E. Lewis, J. M. Brameld, P. Hill, C. Cocco, B. Noli, G. L. Ferri, P. H. Jethwa // *PLoS One*. – 2017. – Т. 12. – №. 2. – С. e0172724.

183. Li, B. High-density genome-wide association study for residual feed intake in Holstein dairy cattle / B. Li, L. Fang, D. J. Null, J. L. Hutchison E. E., Connor, P. M. VanRaden, J. B. Cole // *Journal of dairy science*. – 2019. – Т. 102. – №. 12. – С. 11067-11080.

184. Li, C. Genomic Selection for Live Weight in the 14th Month in Alpine Merino Sheep Combining GWAS Information / C. Li, J. Li, H. Wang, R. Zhang, X. An, C. Yuan, Y. Yue // *Animals*. – 2023. – Т. 13. – №. 22. – С. 3516.

185. Ma, G. Polymorphisms of FST Gene and Their Association with Wool Quality Traits in Chinese Merino Sheep / W. Ma G. W., Chu Y. K., Zhang W. J., Qin F. Y., Xu S. S., Yang H., Rong E. G., Du Z. Q., Wang, S. Z., Li H. // *PLoS ONE*. – 2017. – 12 (4): e0174868. doi: 10.1371/journal.pone.0174868.

186. Ma, S. Association analysis between novel variants in LEPR gene and litter size in Mongolia and ujimqin sheep breeds / S. Ma, X. Ji, M. Cang, J. Wang, H. Yu, Y. Liu, B. Tong // *Theriogenology*. – 2022. – Т. 183. – С. 79-89.

187. Machado, A.L. Single loci and haplotypes in CAPN1 and CAST genes are associated with growth, biometrics, and in vivo carcass traits in

Santa Inês sheep / A.L. Machado, A.N. Meira, E.N. Muniz, H.C. Azevedo, L.L. Coutinho, G.B. Mourão, V.B. Pedrosa, L.F.B. Pinto // *Annals of Animal Science*. – 2020. <https://doi.org/10.2478/aoas-2020-0007>.

188. Marina, H. Genome-wide association studies (GWAS) and post-GWAS analyses for technological traits in Assaf and Churra dairy breeds / H. Marina, R. Pelayo, A. Suárez-Vega, B. Gutiérrez-Gil, C. Esteban-Blanco, J. J. Arranz // *Journal of Dairy Science*. – 2021. – Т. 104. – №. 11. – С. 11850-11866.

189. Molabe, K. M. / Investigation of single nucleotide polymorphisms of the growth hormone gene and its association with the growth traits of Dorper sheep : диссертация. – 2023.

190. Montossi, F. Sustainable sheep production and consumer preference trends: Compatibilities, contradictions, and un-resolved dilemmas // *Meat science*. – 2013. – Т. 95. – №. 4. – С. 772-789.

191. Murach, K. Single muscle fiber gene expression with run taper / K. Murach, U. Raue, B. Wilkerson, K. Minchev, B. Jemiolo, J. Bagley, S. Trappe // *PloS one*. – 2014. – 9(9). – e108547.

192. Oramari, R.A.S. Factors affecting some hematology and serum biochemical parameters in three indigenous sheep breeds / R.A.S. Oramari, A.O. Bamerny, H.M. Zebari // *Advances in Life Science and Technology*. – 2014. – Т. 21. – P. 56-63.

193. Ostapchuk, P.S. Model of tsigai breed' meat quality improvement in pure breeding / P.S. Ostapchuk, S.A. Yemelianov, L.N. Skorykh, N.V. Konik, N.A. Kolotova // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. – 2018. – Т. 9. – № 3. – P. 756-764.

194. Petrovic, P.M. Trends and challenges in the genetic improvement of farm animals / P.M. Petrovic, D.R. Muslic, V.C. Petrovic, N. Maksimovic, B. Cekic, Y.A. Yuldashbaev, M.I. Selionova // *Institute for animal husbandry*. – 2017. – V. 2.

195. Pothuraju, M. Polymorphism in the coding region sequence of GDF8 Gene in Indian Sheep / M. Pothuraju, S. K. Mishra, S. N. Kumar, N. F. Mohamed, R. S. Kataria, D. K. Yadav, R. Arora // *Russian Journal of Genetics*. – 2015. – Vol. 51. – № 11. – P. 1119–1122.
196. Reece, W. O. The composition and functions of blood / W.O. Reece, H.H. Erickson, J.P. Goff, E.E. Uemura // *Duckes' Physiology of Domestic Animals* 13th Edition, Wiley Blackwell, OX, UK. – 2015. – C. 114-136.
197. Salim, A. H. The effect of the interaction between two mutations MSTN/T434C and CAST/T350C on carcass and meat traits in arabi sheep in Iraq // *International Journal of Applied Sciences and Technology*. – 2022. <http://dx.doi.org/10.47832/2717-8234.13.15>.
198. Sánchez-Dávila, F. Environmental factors and ram influence litter size, birth, and weaning weight in Saint Croix hair sheep under semi-arid conditions in Mexico / F. Sánchez-Dávila, H. Bernal-Barragán, G. Padilla-Rivas, A. S. del Bosque-González, J. F. Vázquez-Armijo, R. A. Ledezma-Torres // *Tropical animal health and production*. – 2015. – T. 47. – P. 825-831.
199. Selionova, M.I. Meat productivity of sheep of the Altai Mountain breed of different genotypes according to the CAST and GDF9 genes / M.I. Selionova, L.N. Chizhova, E.S. Surzhikova, N.A. Podkorytov, A.T. Podkorytov, T.V. Voblikova // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. – 2020. – V. 613. – №. 1. – P. 012130.
200. Serrano, M. Genome-wide association studies for sperm traits in Assaf sheep breed / M. Serrano, M. Ramón, J. H. Calvo, M. Á. Jiménez, F. Freire, J. M. Vázquez, J. J. Arranz // *Animal*. – 2021. – T. 15. – №. 2. – P. 100065.
201. Smołucha, G. Use of the HRM method in quick identification of FecXO mutation in highly prolific olkuska sheep / G. Smołucha, K.

Piórkowska, K. Ropka-Molik, J. Sikora // *Animals*. – 2020. – T. 10. – №. 5. – C. 844.

202. Shi, J. Cytokines and abnormal glucose and lipid metabolism / J. Shi, J. Fan, Q. Su, Z. Yang // *Frontiers in endocrinology*. – 2019. – T. 10. – P. 703.

203. Shrock, E. CRISPR in animals and animal models / E. Shrock, M. Güell // *Progress in molecular biology and translational science*. – 2017. – T. 152. – C. 95-114.

204. Sutthi, N. Effects of dietary leaf ethanolic extract of *Apium graveolens* L. on growth performance, serum biochemical indices, bacterial resistance and lysozyme activity in *Labeo chrysophekadion* (Bleeker, 1849) / N. Sutthi, A. Panase, C. Chitmanat, S. Sookying, K. Ratworawong, P. Panase // *Aquaculture Reports*. – 2020. – V. 18. – P. 100551.

205. Tao, L. Genome-wide association study of body weight and conformation traits in neonatal sheep / L. Tao, X. Y. He, L. X. Pan, J. W. Wang, S. Q. Gan, M. X. Chu // *Animal genetics*. – 2020. – T. 51. – №. 2. – C. 336-340.

206. Tong, B. Novel Variants in GDF9 Gene Affect Promoter Activity and Litter Size in Mongolia Sheep / B. Tong, J. Wang, Z. Cheng, J. Liu, Y. Wu, Y. Li, C. Bai, S. Zhao, H. Yu, G. Li // *Genes*. – 2020. – 11. – P. 375.

207. Trukhachev, V. I. Genetical influence on histological structure and chemical composition of muscular tissue in sheep / V. I. Trukhachev, M. I. Selionova, I. I. Dmitrik, M. P. Petrović, V. Caro Petrović, D. Ružić-Muslić, N. Maksimović // *Genetika*. – 2021. – T. 53. – №. 1. – C. 209-218.

208. Uzabaci, E. E. Associations between c. 2832A>G polymorphism of CAST gene and meat tenderness in cattle: a meta-analysis / Uzabaci, D. Dincel. // *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*. – 2022. – 28(5). – P.613-620. doi: 10.9775/kvfd.2022.27770

209. Usatov, A.V. The relationship between heterosis and genetic distances based on ssr markers in *helianthus annuus* / A.V. Usatov, K.V.

Azarin, N.V. Markin, V.E. Tikhobaeva, O.A. Usatova, M. Makarenko, A.I. Klimenko, Y.A. Kolosov, S. Bakoev, L. Getmantseva, O.F. Gorbachenko // *American Journal of Agricultural and Biological Science*. – 2014. – T. 9. – №3. – P. 270-276.

210. Valeh, M. V. Association of growth traits with SSCP polymorphisms at the growth hormone receptor (GHR) and growth hormone releasing hormone receptor (GHRHR) genes in the Baluchi sheep / M. V. Valeh, M. Tahmoorespour, M. Ansari, M. R. Nassiry, D. Karimi, A. Taheri // *J Anim Vet Adv*. – 2009. – T. 8. – №. 6. – P. 1063-1069.

211. Valencia, C.P. L. Association of single nucleotide polymorphisms in the CAPN, CAST, LEP, GH, and IGF-1 genes with growth parameters and ultrasound characteristics of the Longissimus dorsi muscle in Colombian hair sheep / C.P.L. Valencia, L.Á.Á. Franco, D.H. Herrera // *Tropical Animal Health and Production*. – 2022. – V. 54. – №. 1. – P. 1-10.

212. Wahyudi, F. E. Association of growth hormone gene polymorphisms with growth traits in texel crossbreed / F. E. Wahyudi, T. E. Susilorini, S. Maylinda // *Developing Modern Livestock Production in Tropical Countries*. – CRC Press, 2023. – C. 100-102.

213. Wang, Y. Effects of novel variants in BMP15 gene on litter size in Mongolia and Ujimqin sheep breeds / Y. Wang, Z. Chi, S. Jia, S. Zhao, G. Cao, C. Purev, B. Tong // *Theriogenology*. – 2023. – T. 198. – P. 1-11.

214. Wilkie, H. A candidate gene approach to study nematode resistance traits in naturally infected sheep / H. Wilkie, V. Riggio, O. Matika, L. Nicol, K. A. Watt, R. Sinclair, A. M. Sparks, D. H. Nussey, J. M. Pemberton, R. D. Houston, J. Hopkins // *Veterinary Parasitology*. – Elsevier. – 2017. – Vol. 243. – № June. – P. 71–74.

215. Wrann, C. D. FOSL2 promotes leptin gene expression in human and mouse adipocytes / C. D. Wrann, J. Eguchi, A. Bozec, Z. Xu, T. Mikkelsen, J. Gimble, E. D. Rosen // *The Journal of clinical investigation*. – 2012. – №.122(3).

216. Yangsheng, Wu Transcriptome profile of one-month-old lambs' granulosa cells after superstimulation / Wu. Yangsheng, J. Lin X. Li, B. Han L. Wang M. Liu J. Huang // *Asian-Australasian journal of animal sciences.* – 2017. – 30. – №1. – P. 20.
217. Xu S. S. Genome-wide association analyses highlight the potential for different genetic mechanisms for litter size among sheep breeds S. S./ Xu, L. Gao, X. L. Xie, Y. L. Ren, Z. Q. Shen, F.Wang, M. H. Li // *Frontiers in genetics.* – 2018. – T. 9. – C. 118.
218. Yilmaz O. Genome-wide association studies of preweaning growth and in vivo carcass composition traits in Esmé sheep / O. Yilmaz, M. Kizilaslan, Y. Arzik, S. Behrem, N. Ata, O. Karaca, I. Cemal // *Journal of Animal Breeding and Genetics.* – 2022. – T. 139. – №. 1. – C. 26-39.
219. Yu, J. Y Association of single nucleotide polymorphisms in ADIPOQ gene with risk of hypertension: a systematic review and meta-analysis / J. Yu, L. Liu, Z. Li, Y. Wang, W. Zhang, Y. Jin, Yao // *International Journal of Molecular Epidemiology and Genetics.* – 2021. – T. 12. – №. 5. – P. 90.
220. Zhang, L. Genome-wide association studies for growth and meat production traits in sheep / L. Zhang, J. Liu, F. Zhao, H. Ren, L. Xu, J. Lu, L. Du // *PloS one.* – 2013. – V. 8. – №. 6. – P. 66-69.
221. Zhang, W. Genome-wide association studies for fatty acid metabolic traits in five divergent pig populations / W. Zhang., B. Yang, J. Zhang, L. Cui, J. Ma, C. Chen, L. Huang // *Scientific reports.* – 2016. – T. 6. – №. 1. – C. 24718.
222. Zhao, Li M. Zebrafish genome engineering using the CRISPR–Cas9 system / Li M. Zhao L., Page-McCaw P. S., Chen W. // *Trends in Genetics.* – 2016. – T. 32. – №. 12. – C. 815-827.
223. Zhao, H. Genome-wide association studies detects candidate genes for wool traits by re-sequencing in Chinese fine-wool sheep / H. Zhao,


T. Guo, Z. Lu, J. Liu, S. Zhu, G. Qiao, B. Yang // BMC genomics. – 2021. –
T. 22. – C. 1-13.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Утверждаю:

Директор
ВНИИОК – филиала ФГБНУ
«Северо-Кавказский ФНАЦ»
доктор сельскохозяйственных наук,



 А.И. Суров
«27» мая 2024 г.

Утверждаю:

Председатель
СПК колхоза-племзавода
им. Ленина
Н.Н. Васильев



2024 г.

АКТ

о внедрении законченных научно-исследовательских разработок в сельскохозяйственное производство

Мы, нижеподписавшиеся, представители Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства - филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», заместитель директора по научной работе, кандидат с.-х. наук Шумаенко С.Н., главный научный сотрудник отдела генетики и биотехнологии, лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве, доктор биол. наук Криво ручко А.Ю., главный научный сотрудник отдела генетики и биотехнологии, лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве, доктор биол. наук, доцент Скорых Л.Н., старший научный сотрудник отдела генетики и биотехнологии, лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве, кандидат биол. наук Скокова А.В., ведущий научный сотрудник отдела генетики и биотехнологии, лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий, кандидат с.-х. наук Суржикова Е.С., младший научный сотрудник отдела генетики и биотехнологии, лаборатории геномной селекции и репродуктивной криобиологии в животноводстве Суховеева А.В. с одной стороны, и представитель сельскохозяйственного производственного кооператива колхоза – племзавода им. Ленина Апанасенковского района Ставропольского края, главный зоотехник Тихон А.В., с другой стороны, составили настоящий акт о том, что в период с 2020 по 2023 г.г. проведена научно-исследовательская работа по направлению фундаментальных и поисковых научных исследований 4.2.1. Зоотехния по теме «Разработать и усовершенствовать биотехнологические методы генетического контроля, воспроизводства и управления селекционным процессом при создании новых селекционных форм сельскохозяйственных животных», выполненная согласно Государственного тематического плана научно-исследовательских работ (№ государственной регистрации FNMU-2022-0012), часть исследований выполнена при финансовой поддержке программы УМНИК договор № 16026ГУ/2020 от 24.12.2020 г. Впервые определены аллельные варианты генов *GH*, *CAST* и *GDF9* в популяции овец породы маньчский меринос, разводимой на территории крайне засушливой зоны Ставропольского края. Выравниванием на «эталонную» последовательность в международных

геномных браузеров, полученных ампликонов гормона роста, кальпастина и дифференциального фактора роста, позволило выявить точечные мутации в структуре генома овец породы маньчский меринос. Впервые применен комплексный подход к изучению генетических ассоциаций с биохимическими параметрами и продуктивными характеристиками овец исследуемой популяции. Представлена генетическая структура овец породы маньчский меринос по генам *GH*, *CAST* и *GDF9*. Впервые проведен анализ ассоциаций генотипов исследуемых полиморфизмов генов *GH*, *CAST* и *GDF9* с признаками мясной и шерстной продуктивности у овец породы маньчский меринос. Выявлены генотипы рассмотренных полиморфизмов в генах *GH*, *CAST* и *GDF9* с последующим генетическим обоснованием перспективности селекции для дальнейшей оценки овец с высоким генетическим потенциалом продуктивности. Новизна исследований подтверждена патентом на изобретение «Способ оценки генетического потенциала овец породы маньчский меринос на основе молекулярно-генетических маркеров» (RU № 2776044).

В процессе внедрения выполнены следующие работы:

- изучена частота аллельных вариантов и генотипов полиморфизмов с. 255 G>A в гене *GH*, с.767+200G>A в гене *CAST*, и с.397G>A в гене *GDF9* у овец породы маньчский меринос;
- выявлена взаимосвязь показателей роста и развития у молодняка овец с разными генотипами рассматриваемых полиморфизмов в генах *GH*, *CAST* и *GDF9*;
- проанализировано наличие ассоциации генотипов изучаемых полиморфизмов в генах *GH*, *CAST* с количественно-качественными характеристиками мясной продуктивности баранчиков породы маньчский меринос;
- установлены ассоциации генотипов в однонуклеотидном полиморфизме гена *GH* с показателями шерстной продуктивности ярок исследуемой популяции;
- изучены биохимические параметры крови у ярок с учетом генотипов изучаемых полиморфизмов генов *GH*, *CAST* и *GDF9*;
- дана экономическая оценка эффективности выращивания молодняка овец разных генотипов.

От выполненных экспериментальных работ и внедрения их результатов в производство получен следующий эффект:

1. По результатам исследования образцов ДНК овец породы маньчский меринос идентифицировали миссенс-мутацию, расположенную в кодирующей части экзона III гена *GH* (с. 255 G>A), миссенс-мутацию, расположенную в кодирующей части экзона I гена *GDF9* (с.397G>A), а также замену в некодирующей части (12-13 интрон) гена *CAST* (с.767+200G>A).

2. Проведенные исследования позволили установить разнообразие аллельных вариантов рассматриваемых генов. Полиморфизм с. 255 G>A в гене *GH*, с.767+200G>A в гене *CAST*, и с.397G>A в гене *GDF9* в исследуемой популяции овец породы маньчский меринос представлен двумя аллелями с разной частотой встречаемости. Определены различия в распределении частоты встречаемости гомозиготных и гетерозиготных генотипов в изученных полиморфных вариантах генов. Установлено, что среди исследуемого поголовья овец наибольшая частота встречаемости была характерна для гомози-

готных вариантов GH^{AA} (59,4 и 61,6 %), $CAST^{MM}$ (78,1 и 71,7 %), $GDF9^{GG}$ (79,1 и 80,8 %).

3. Выявлено наличие ассоциации генотипов однонуклеотидных полиморфизмов в генах GH , $CAST$, $GDF9$ с интенсивностью роста овец породы маньчжский меринос. Наибольшей живой массой характеризовались ярки с генотипами GH^{AB} и GH^{BB} , превосходящие особей с генотипом GH^{AA} в возрасте 2,5 месяца на 11,5 ($p < 0,05$) и 7,7 %; 4 месяца – на 7,6 ($p < 0,05$) и 5,0 %; 6 месяцев – на 11,4 и 6,8 % ($p < 0,001$; $p < 0,01$); 8 месяцев – на 9,7 ($p < 0,01$) и 6,0 %; 14 месяцев – на 7,9 ($p < 0,01$) и 5,0 %.

Наличие у овец полиморфных вариантов гена $CAST$ выявило преимущество ярков-носителей генотипа $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$ над аналогами $CAST^{MM}$ по живой массе в возрасте 2,5 месяца на 10,6 и 9,3 %; 4 месяца – на 9,8 ($p < 0,01$) и 4,5 %; 6 месяцев – 15,5 ($p < 0,001$) и 11,2 %, 8 месяцев – 15,3 и 9,9 %; 14 месяцев – 13,9 и 8,2 % ($p < 0,001$; $p < 0,01$).

Результатами динамики массы тела у исследуемых ярков в зависимости от генотипов гена $GDF9$ установлено, что большая живая масса отмечена у особей с генотипами $GDF9^{AA}$ и $GDF9^{AG}$ над овцами генотипа $GDF9^{GG}$, составившее при рождении 9,2 и 6,9 %; в 2,5 месяца – 9,9 и 4,9 %; 4 месяца – 6,4 и 5,0 %; 6 месяцев – 10,8 и 4,3 %; 8 месяцев – 14,7 и 8,5 %, 14 месяцев – 15,1 ($p < 0,001$) и 4,8 %.

Установлено, что среди баранчиков с учётом сочетаний генотипов генов GH , $CAST$ и $GDF9$ обнаружена аналогичная картина, то есть группа особей с генотипами GH^{AB} , GH^{BB} , $CAST^{MN}$, $CAST^{NN}$, $GDF9^{AA}$, $GDF9^{AG}$, характеризовалась лучшими показателями по живой массе.

3. При рассмотрении количественно-качественных показателей мясной продуктивности у баранчиков с учетом полиморфности гена GH установлено, что особи с генотипами GH^{AB} и GH^{BB} превосходили животных с генотипом GH^{AA} по предубойной живой массе на 10,2 и 7,3 % ($p < 0,05$), массе парной туши – на 15,8 и 9,1 % ($p < 0,05$), убойной массе – на 15,7 и 9,0 % ($p < 0,01$). Животные, несущие аллель B в гене GH , характеризовались большим содержанием мышечной ткани на 18,8 и 10,8 % ($p < 0,05$), более высоким коэффициентом мясности на 11,1 и 6,8 % ($p < 0,01$) в сравнении с овцами, не имеющими этот аллель. Наличие в геноме овец аллеля N гена $CAST$ ассоциировано с высокой живой массой перед убоем на 7,5 и 5,1 % ($p < 0,05$), массой парной туши – на 10,7 и 5,5 % ($p < 0,05$), убойной массой – на 10,5 и 5,5 % ($p < 0,05$), коэффициентом мясности – 10,1 и 5,6 % ($p < 0,001$, $p < 0,05$), в сравнении с особями, несущими аллель M в гомозиготном состоянии.

4. Установлено наличие ассоциации генотипов полиморфизма с. 255 $G > A$ в гене GH с количественно-качественными характеристиками шерстной продуктивности ярков породы маньчжский меринос. Выявлено преимущество носительниц GH^{AA} варианта над сверстницами GH^{AB} и GH^{BB} генотипов по настригу невымытой шерсти на 6,4 и 10,7 % ($p < 0,001$), чистой – на 8,2 и 13,5 %, проценту ее выхода – на 1,04 и 1,54 абс. % ($p < 0,001$). Наличие в геноме овец аллеля B гена GH ассоциировано с меньшим диаметром шерстного волокна (5,3 и 7,1 %, $p < 0,05$), в сравнении с ярками, не имеющими этот аллель.

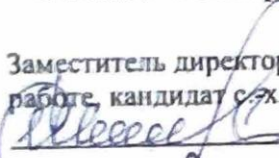
5. Расчет экономической эффективности выращивания молодняка овец породы маньчжский меринос определил, что от ярочек с генотипами GH^{AB} и

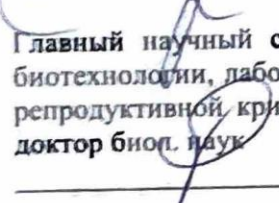
GH^{BB} , $CAST^{MN}$ и $CAST^{NN}$, $GDF9^{AA}$ и $GDF9^{AG}$ получено больше продукции на 4,9-15,0 %, что способствовало увеличению уровня рентабельности – на 6,5-20,1 %.

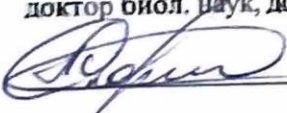
Предложение по дальнейшему внедрению результатов работы:

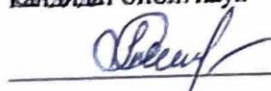
Для совершенствования племенных стад овец породы маньчжурский меринос, ускорения селекционного процесса целесообразно: проводить отбор животных по результатам генотипирования с учетом установленных сведений о полиморфизме генов GH , $CAST$ и $GDF9$ и его ассоциации с признаками продуктивности; применять разработанный и запатентованный способ оценки генетического потенциала овец данной породы на основе молекулярно-генетических маркеров (RU № 2776044).

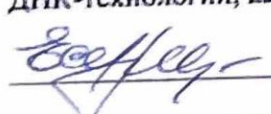
**Представители
ВНИИОК – филиала
ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»**

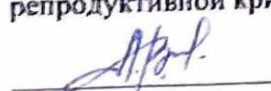
Заместитель директора по научной
работе, кандидат с.-х. наук

С.Н. Шумаенко

Главный научный сотрудник отдела генетики и
биотехнологии, лаборатории геномной селекции и
репродуктивной криобиологии в животноводстве,
доктор биол. наук

А.Ю. Криворучко

Главный научный сотрудник отдела генетики и
биотехнологии, лаборатории геномной селекции и
репродуктивной криобиологии в животноводстве,
доктор биол. наук, доцент

Л.Н. Скорых

Старший научный сотрудник отдела генетики и
биотехнологии, лаборатории геномной селекции и
репродуктивной криобиологии в животноводстве,
кандидат биол. наук

А.В. Скокова

Ведущий научный сотрудник отдела генетики и
биотехнологии, лаборатории иммуногенетики и
ДНК-технологий, кандидат с.-х. наук

Е.С. Суржикова

Младший научный сотрудник отдела генетики и
биотехнологии, лаборатории геномной селекции и
репродуктивной криобиологии в животноводстве

А.В. Суховсева

**Представитель
СПК колхоза-племзавода
им. Ленина**

Главный зоотехник

А.В. Тихон

УТВЕРЖДАЮ:



Первый проректор ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», доктор географических наук, профессор

А.А. Лиховид

«29»

2024 г.

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационного исследования на соискание
ученой степени кандидата биологических наук
Суховеевой Ангилины Владимировны
на тему «Полиморфизм генов *GH*, *CAST*, *GDF9* и его ассоциации с
показателями продуктивности овец породы маньчский меринос»

Настоящая справка подтверждает, что материалы и результаты диссертационного исследования Суховеевой А.В., посвященные выявлению полиморфизмов генов *GH*, *CAST*, *GDF9* и их ассоциаций с количественно-качественными характеристиками мясной и шерстной продуктивности у овец породы маньчский меринос приняты базовой кафедрой генетики и селекции медико-биологического факультета ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» для использования в научно-исследовательской работе и в учебном процессе в качестве дополнительного материала для самостоятельной работы студентов.

В частности:

1. Положения диссертации Суховеевой А.В. используются при методической разработке учебных курсов «Генетика и селекция животных», «Генетические основы селекции»;
2. Авторский анализ современных генетических инструментов, нашедших применение при проведении селекционно-племенных

мероприятий, использован при подготовке и преподавании общепрофессиональных дисциплин «Селекция растений, животных и микроорганизмов», «Генная инженерия и биотехнология», «Основы генетики».

Заведующая базовой кафедрой генетики и селекции
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский
федеральный университет»»,
доктор биологических наук, профессор



Н.Г. Лиховид

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2776044

**Способ оценки генетического потенциала овец породы
маньчский меринос на основе молекулярно-
генетических маркеров**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Северо-Кавказский федеральный научный
аграрный центр" (RU)*

Авторы: *Скорых Лариса Николаевна (RU), Суров Александр
Иванович (RU), Суховеева Ангелина Владимировна (RU),
Суржикова Евгения Семеновна (RU), Скокова Антонина
Владимировна (RU), Елагин Виктор Григорьевич (RU), Белов
Денис Евгеньевич (RU)*

Заявка № 2021134831
Приоритет изобретения **29 ноября 2021 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **12 июля 2022 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **29 ноября 2041 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Федеральная служба по интеллектуальной собственности
Следственный департамент
Адрес: **Триумфальный Сервис**
Долгопрудный, д. 100, стр. 100

Ю.С. Зубов



