

*На правах рукописи*

**Евлагина Дарья Дмитриевна**

**ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНОВ *GDF9*, *PRL*,  *$\beta$ -LG*  
И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОДУКТИВНЫЕ КАЧЕСТВА  
ОВЕЦ ПОРОДЫ ЛАКОН**

06.02.07 – разведение, селекция и генетика сельскохозяйственных животных

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата биологических наук

Ставрополь – 2022

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

**Научный руководитель:** **Селионова Марина Ивановна,**  
доктор биологических наук, профессор РАН

**Официальные оппоненты:** **Широкова Надежда Васильевна,** доктор биологических наук, доцент кафедры пищевых технологий и товароведения ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»

**Денискова Татьяна Евгеньевна,** кандидат биологических наук, старший научный сотрудник группы генетики и геномики мелкого рогатого скота, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела»

Защита диссертации состоится 27 июня 2022 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 999.210.02 при ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ по адресу: 355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, тел. 8 (8652) 28-61-10, факс: 28-61-10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ и на официальном сайте университета: <http://www.stgau.ru>.

Автореферат разослан «\_\_» апреля 2022 г. и размещен на сайтах: ВАК Министерства науки и высшего образования РФ <http://www.vak.minobrnauki.gov.ru> «20» апреля 2022 г.; ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» <https://www.stgau.ru> 18 апреля 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



М.Е. Пономарёва

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Овцы являются одними из старейших, наиболее универсальных и адаптируемых домашних животных. Благодаря этим характеристикам, а также разнообразию получаемой от них продукции, овцы, как сельскохозяйственные животные, получили наибольшее распространение (Ерохин А.И. и соавт., 2019).

В последнее время заметной тенденцией во всём мире является увеличение доли овец молочного направления продуктивности. Интерес к молочному овцеводству растёт и в России, об этом свидетельствует рост производства овечьего молока в период с 2012 по 2019 годы в 7,5 раз, а в сравнении с 2000 годом – в 14,5 раз (Pulina G. et al., 2018; ФАОСТАТ 2019).

Растущий интерес к овечьему молоку определяет расширение направлений исследований, основанных на использовании современных молекулярно-генетических методов для выявления желательных аллельных вариантов генов, ассоциированных с молочной продуктивностью овец. Такой подход будет способствовать эффективности селекционно-племенной работы и ускорению темпов её развития (Глазко В.И. и соавт., 2017; Song-Song X.U., Meng-Hua L.I., 2017; Денискова Т.Е. и соавт., 2019; Zlobin A.S. et al., 2019; Abousoliman I. et al., 2020; Marina H. et al., 2020).

Представлены достаточно убедительные доказательства связи генотипов бета-лактоглобулина ( $\beta$ -LG), пролактина (*PRL*), каппа-казеина (*CSN3*) и других генов с молочной продуктивностью и сыродельческими качествами молока крупного рогатого скота (Горячева Т.С., Гончаренко Г.М., 2010; Калашникова Л.А. и соавт., 2015; Гончаренко Г.М. и соавт., 2016; Епишко О.А., и соавт., 2017; Бигаева А.В. и соавт., 2019; Ковалюк Н.В. и соавт., 2021). Однако исследований, посвященных влиянию полиморфизма разных генов на молочную продуктивность овец, выполнено недостаточно.

В связи с этим, изучение овец молочного направления продуктивности, разводимых в Российской Федерации, определение полиморфизма генов, влияющих на показатели их молочной продуктивности и репродуктивные функции, является актуальной задачей.

**Степень разработанности темы исследований.** В селекции овец перспективно применение маркер-ассоциированного подхода, основанного на использовании ДНК-генотипирования и отборе животных желательных генотипов (Глазко В.И., 2012; Сердюк Г.Н., 2019; Трухачёв В.И. и соавт., 2018; Притужалова А.О., Денискова Т.Е. и соавт., 2020, 2021). Среди генов-кандидатов, влияющих на важные экономические признаки молочных овец, выделены гены *GDF9*, *PRL* и  $\beta$ -LG. В ряде исследований продемонстрировано, что полиморфизм  $\beta$ -LG достоверно связан с величиной удоя, содержанием жира, белка и лактозы, выходом и составом сыра (Dario C. et al., 2008; Georgescu S.E. et al., 2016; Selvaggi M. et al., 2015; Padilla P. et al., 2018). Установлено влияние *PRL* на количественно-качественные показатели молочной продуктивности овец, выявлена ассоциация гена *GDF9* с воспроизводительными качествами (Gras M.A. et al., 2017; Jawasreh I.K., Ismail Z.B., 2018; Al-Khuzai F.L.J., Ahmed J.R., 2019; Getmantseva L. et al., 2019; Bishop T.F., Van Eenennaam A.L., 2020; Горлов И.Ф. и соавт., 2021).

**Цель и задачи исследований.** Цель работы заключалась в установлении полиморфизма в генах *GDF9*, *PRL*, *β-LG*, определении его влияния на продуктивность овец породы лакон и выявлении желательных для селекции генотипов.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- охарактеризовать полиморфизм генов *GDF9*, *PRL*, *β-LG* у овец породы лакон;
- определить биохимические показатели крови овец разных генотипов по генам *GDF9*, *PRL*, *β-LG*;
- сравнить воспроизводительные качества, живую массу и молочную продуктивность у овец разных генотипов по генам *GDF9*, *PRL*, *β-LG*;
- оценить технологические свойства молока, его сыропригодность и качество овечьего сыра от овец с разными генотипами по генам *PRL*, *β-LG*;
- определить экономическую эффективность разведения овец и изготовления сыра из молока разных генотипов по генам *GDF9*, *PRL*, *β-LG*.

**Научная новизна исследований.** Впервые у овец породы лакон, разводимых в Российской Федерации, проведён анализ распределения аллельных вариантов в генах *GDF9*, *PRL*, *β-LG* и установлено влияние полиморфизма в исследованных генах на биохимические показатели крови, воспроизводительные качества, живую массу и количественно-качественные признаки молочной продуктивности.

Полученные результаты исследований дополняют и расширяют теоретическую базу знаний о генетических факторах, ассоциированных с продуктивностью молочных овец, и подтверждают целесообразность их использования в качестве ДНК-маркеров в селекционной работе с овцами породы лакон.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Исследован полиморфизм генов *GDF9*, *PRL*, *β-LG* в породе овец лакон и установлена положительная связь генотипов *GDF9<sup>AG</sup>*, *β-LG<sup>AA</sup>*, *PRL<sup>AA</sup>* с удоем, *β-LG<sup>BB</sup>*, *PRL<sup>BB</sup>* – с содержанием белка в молоке и лучшими его технологическими качествами для производства сыра.

Практическая значимость полученных данных заключается в перспективности отбора носителей желательных аллелей генов *GDF9*, *PRL* и *β-LG* для целенаправленного подбора родительских пар и получения большего числа потомков с гомозиготными генотипами. Целенаправленная селекция обеспечит больший удельный вес в стаде овец с лучшими количественно-качественными показателями молочной продуктивности с целью производства большего объёма молока для реализации, а также получения молока с лучшими параметрами для производства сыра.

Установленные закономерности и практические предложения могут быть использованы при подготовке специалистов зооветеринарного и биологического профиля.

**Связь темы с планом научных исследований.** Работа была выполнена в соответствии с государственным тематическим планом НИР №0725-2019-0024 по теме «Усовершенствовать биотехнологические методы генетического контроля и управления селекционным процессом при создании новых селекционных форм

сельскохозяйственных животных (крупного рогатого скота, овец, коз, свиней) и разработать технологии их содержания» ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ».

Полученные результаты исследований внедрены в производственную деятельность КФХ «Николаев» Крымского района Краснодарского края и подтверждены актом о внедрении законченных научно-исследовательских разработок в сельскохозяйственное производство.

**Методология и методы исследования.** Методологической основой проведения диссертационного исследования явился анализ экспериментальных работ российских и зарубежных учёных в области генетики, селекции и разведения овец. При выполнении научных исследований были использованы аналитические, молекулярно-генетические, биохимические, зоотехнические, химико-технологические, физико-химические и расчётно-статистические методы исследования.

**Степень достоверности и апробация результатов исследований.** Достоверность основана на использовании достаточного количества подопытных животных, применении современных методов, оборудования, биометрической обработки экспериментальных данных с оценкой степени достоверности различий между животными разных генотипов с использованием пакета программ Microsoft Office Excel и BioStat. Основные положения работы доложены и одобрены на ежегодных отчётах лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий, заседаниях учёного совета ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в 2019-2021 гг. (г. Ставрополь); XIV Выставке инновационных проектов молодых учёных Северного Кавказа (г. Нальчик, 2020); XIV Международной научно-практической конференции «Научные основы повышения продуктивности и здоровья животных» (г. Краснодар, 2020); Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Перспективные разработки молодых ученых в области производства и переработки сельскохозяйственной продукции» (г. Ставрополь, 2020); XV Выставке инновационных проектов молодых учёных Северного Кавказа (г. Нальчик, 2021); XV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы повышения здоровья и продуктивности животных» (г. Краснодар, 2021); 3-й Международной научно-практической конференции «Молекулярно-генетические технологии анализа экспрессии генов продуктивности и устойчивости к заболеваниям животных» (г. Москва, 2021); Международной научно-практической конференции «Генетика, селекция, биотехнология: интеграция науки и практики в животноводстве» (г. Пушкин, 2021); Международной научно-практической конференции «Геномика животных и биотехнологии» (г. Махачкала, 2021); XVI Выставке инновационных проектов молодых учёных Северного Кавказа (г. Нальчик, 2022).

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- гены *GDF9*, *PRL*, *β-LG* у овец породы лакон полиморфны;
- воспроизводительные качества овец зависят от генотипов по гену *GDF9*;
- разное аллельное состояние в генах *GDF9*, *PRL*, *β-LG* оказывает влияние на биохимические показатели крови, признаки молочной продуктивности у овец породы лакон;

– технологические свойства овечьего молока и его сыропригодность зависят от комплексных генотипов по генам *PRL*, *β-LG*;

– экономическая эффективность разведения животных разных генотипов в генах *GDF9*, *PRL*, *β-LG* для производства молока и его реализации, для производства молока и изготовления сыра различна.

**Публикация результатов исследований.** По материалам диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 3 – в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ, 1 – публикация в рецензируемом издании, входящем в международную реферативную базу данных (Scopus), 1 – методические рекомендации.

**Объём и структура диссертации.** Диссертация изложена на 124 страницах компьютерного текста, содержит 27 таблиц, 9 рисунков и 2 приложения, включает введение, обзор литературы, материалы и методику исследований, результаты исследований и их обсуждение, заключение, включающее выводы, практические предложения, перспективы дальнейшей разработки темы; список использованной литературы, насчитывающий 190 источников, в том числе 101 – на иностранных языках.

**Личный вклад соискателя.** Автором проанализировано современное состояние проблемы, обозначены цель и задачи исследования, определены схема и методы исследования, выполнен генетико-статистический анализ экспериментальных данных. Представленная диссертация является завершённой научно-квалификационной работой и свидетельствует о высоком личном вкладе автора диссертации в зоотехническую науку в области молочного овцеводства. Доля личного участия при выполнении диссертационного исследования составляет 80,0 %.

## **2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

### **2.1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

В главе даётся анализ современного состояния молочного овцеводства в мире и в Российской Федерации, приводятся сравнительные данные о продуктивных качествах овец разных пород молочного направления продуктивности, а также о современных достижениях в области изучения генов, ассоциированных экономически-важными признаками молочных овец.

### **2.2. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

#### **2.2.1. Материал и методы исследований**

**Условия проведения опыта.** Научно-исследовательская работа проводилась в период 2019-2021 гг. в КФХ «Николаев» Краснодарского края Крымского района.

**Объектом исследования** служили овцы породы лакон ( $n = 248$ ). Эксперименты на животных проводились в соответствии с принципами Европейской конвенции по охране позвоночных животных, используемых для эксперимента или в иных научных целях.

Общая схема исследований представлена на рисунке 1.

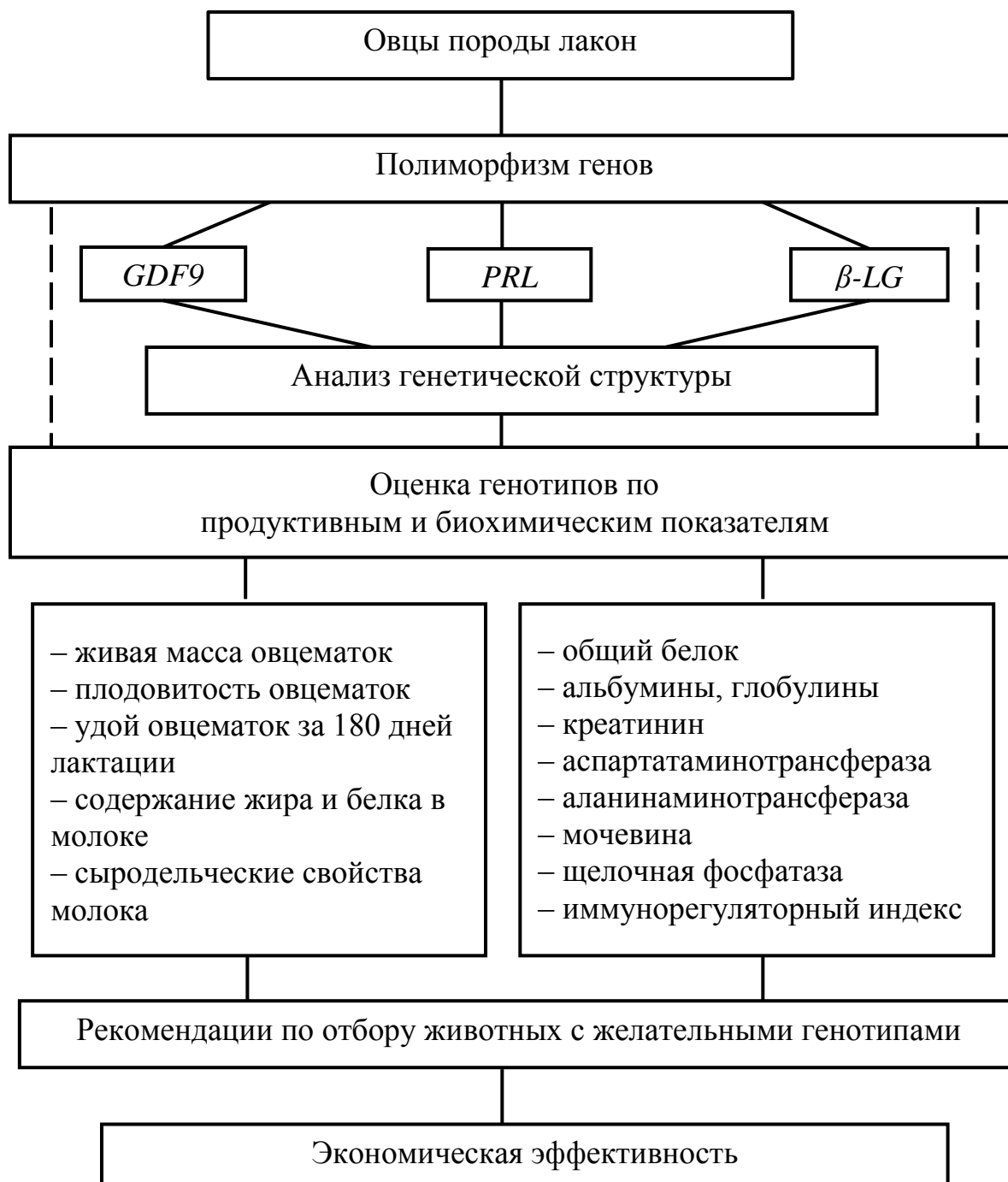


Рисунок 1 – Схема исследований

*Молекулярно-генетический анализ.* Лабораторные исследования проводились в лицензированной лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий, отдела генетики и биотехнологии ВНИИОК-филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» (свидетельство ПЖ-77 № 008326 от 18.04.2018 г.).

Биологическим материалом для исследований служила ДНК, выделенная из цельной крови животных. Периферическую кровь отбирали путём пункции яремной вены овец в вакуумные пробирки типа Vacuette объёмом 6,0 мл с добавленной в качестве антикоагулянта соли этилендиаминтетраацетата (ЭДТА<sup>K2</sup>)

в конечной концентрации 2,0 мг/мл. С соблюдением температурного режима в термосумке с хладогентами кровь доставлялась в лабораторию в течение суток.

Геномную ДНК выделяли при помощи коммерческого набора реагентов «Diatom<sup>tm</sup>DNAprep200» согласно протоколу, представленным изготовителем ООО «Лаборатория Изоген», Россия. Выход чистой ДНК составил 3-5мкг из 100 мкл крови с коэффициентом поглощения 260/280 в диапазоне 1,6-2,0.

Для постановки полимеразно-цепной реакции (ПЦР) использовались коммерческие наборы «GenPak<sup>tm</sup> PCR Core» («Изоген», Россия), предназначенные для амплификации ДНК. Мастермиксы содержат все необходимые компоненты реакции, включая ингибированную для «горячего старта» Taq ДНК полимеразу, смесь высокоочищенных 2'-дезоксинуклеозид-5'-трифосфатов (dATP, dTTP, dGTP, dCTP) и краску для электрофореза.

Методом ПЦР-ПДРФ (полиморфизм длин рестрикционных фрагментов) проводилось генотипирование исследуемого поголовья овец, по генам *GDF9*, *PRL*, *β-LG* на программируемом четырёхканальном термоциклере «Терцик» фирмы «ДНК-технология» (Россия) в общем объёме реакционной смеси 20 мкл с использованием специфических нуклеотидных последовательностей (праймеров), синтезированных в научно-производственной лаборатории «Синтол» (Москва).

Методом горизонтального гель-электрофореза при ультрафиолетовом свете определялось число и длина рестрикционного фрагмента в агарозном геле (*GDF9* – 2,0 %, *PRL* – 3,0 %, *β-LG* – 1,8 %) разной концентрации с присутствием 10,0 % бромистого этидия (10,0 мкл). Стандартный набор M50 «GenePakDNAMarkers» («Изоген», Россия) использовался в качестве маркера молекулярных масс.

*Биохимические исследования крови.* Для биохимического исследования крови овец породы лакон отбор проб проводили до утреннего кормления из ярёмной вены. Все животные относились к клинически здоровым, не имеющие патологических болезней, которые в свою очередь могли оказывать влияния на биохимические показатели. С использованием автоматического биохимического анализатора согласно существующим методикам «Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: справочник» и Методических указаниях по применению унифицированных биохимических методов исследования крови, мочи в ветеринарных лабораториях, определялись такие показатели как общий белок и его фракции (альбумины, глобулины) аспартатаминотрансфераза (АСТ), аланинаминотрансфераза (АЛТ), мочевины, креатинина, щелочная фосфатаза. По содержанию Т-, В-клеток в периферической крови, используя микро метод образования Е-розеток (Е-РОК и ЕАС-РОК), согласно методических рекомендаций Г. Фримеля судили об уровне клеточного и гуморального иммунитета.

*Живую массу подопытных животных* определяли, путём индивидуального взвешивания на электронных весах с точностью до 0,5 кг, утром до кормления.

*Методика определения молочной продуктивности овец и сыропригодности молока.* Молочную продуктивность определяли путём контрольных доек овцематок каждые 14 дней, а также с использованием данных зоотехнического и племенного учёта хозяйств, то есть следующие документы: материалы годовых



отчётов, документы первичного зоотехнического учёта. При помощи анализатора «Лактоскан М», согласно протоколу исследования, определялись качественные показатели молока – процентное содержание жира, белка. Отбор проб молока для исследований осуществлялся в соответствии с ГОСТ 26809.1-2014.

Из молока, полученного от овец разных генотипов по генам пролактин и бета-лактоглобулин, на сыродельне ООО «Долина Лефкадия» был изготовлен сыр типа «Адыгейский» и проведена оценка его органолептических характеристик согласно ГОСТу 32263-2013 «Сыры мягкие. Технические условия».

*Математическая обработка данных.* Обработка цифрового материала исследований осуществлялась с использованием компьютерных программ BioStat, пакета программ «Microsoft Office» и методом вариационной статистики (Орлова Н.Н., 1991) с определением достоверности различий по t-критерию Стьюдента при трёх уровнях вероятности ( $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,001$ ).

### 2.2.2. Генетический полиморфизм в гене *GDF9*

В результате проведения молекулярно-генетических исследований у овец породы лакон в первом экзоне гена дифференциального фактора роста (*GDF9*) была изучена миссенс-мутация (rs 410123449), приводящая к замене аминокислоты аргинин (Arg) на гистидин (His) (с.260 G→A). Установлено, что полиморфизм гена *GDF9* представлен мутантным аллелем *GDF9<sup>A</sup>* и диким аллелем *GDF9<sup>G</sup>* с разной частотой встречаемости (таблица 1).

Таблица 1 – Частота встречаемости аллелей и генотипов гена дифференциального фактора роста

| Ген/<br>генотип          | n   | Частота встречаемости ± sp       |            | H <sub>obs</sub> | H <sub>ex</sub> | ТГ   | χ <sup>2</sup> |
|--------------------------|-----|----------------------------------|------------|------------------|-----------------|--|----------------|
|                          |     | аллелей                          | генотипов  |                  |                 |  |                |
| <i>GDF9<sup>GG</sup></i> | 216 | A – 0,10±0,037<br>G – 0,90±0,014 | 0,87±0,023 | 0,05             | 0,22            | - 0,17<br>H <sub>obs</sub> < H <sub>ex</sub> | 105,83         |
| <i>GDF9<sup>AG</sup></i> | 15  |                                  | 0,06±0,062 |                  |                 |  |                |
| <i>GDF9<sup>AA</sup></i> | 17  |                                  | 0,07±0,062 |                  |                 |  |                |

Примечания: sp – ошибка частот генотипов/аллелей; уровень значимости  $p < 0,05$

Частота встречаемости аллеля *GDF9<sup>A</sup>* составила 0,10, аллеля *GDF9<sup>G</sup>* – 0,90, что нашло отражение в наличии гомо- и гетерозиготных генотипов. Количество животных носителей гомозиготных генотипов составило 233 особи, при этом частота встречаемости *GDF9<sup>AA</sup>* – 7,0 %, *GDF9<sup>GG</sup>* – 87,0 %. Количество гетерозиготных животных *GDF9<sup>AG</sup>* составила 6,0 %.

Уровень наблюдаемой гетерозиготности (H<sub>obs</sub> = 0,05) был в четыре раза ниже уровня ожидаемой гетерозиготности (H<sub>ex</sub> = 0,22). Отражающий уровень генетического разнообразия популяции – тест гетерозиготности (ТГ), для гена *GDF9* был отрицателен (- 0,17), что свидетельствует о недостатке гетерозигот в исследуемой популяции по данному гену.

Для оценки значимости селективного различия между генотипами, был рассчитан критерий соответствия Пирсона (χ<sup>2</sup>), чтобы проверить соответствие фактических частот генотипов теоретически ожидаемым согласно закону Харди-Вайнберга. Расчёт критерия χ<sup>2</sup> гена *GDF9* равен 105,83, это позволяет

сделать вывод о том, что генетическое равновесие по гену *GDF9* достоверно смещено в сторону гомозиготных генотипов – *GDF9<sup>AA</sup>* и *GDF9<sup>GG</sup>*.

### 2.2.3. Генетический полиморфизм в гене *PRL*

В ходе исследования делеции g.460\_483del, расположенной во втором интроне гена пролактина, у овец породы лакон выявлено две аллели: *PRL<sup>A</sup>*; *PRL<sup>B</sup>*, определившие три генотипа: *PRL<sup>AA</sup>*, *PRL<sup>BB</sup>* и *PRL<sup>AB</sup>* с разной частотой встречаемости (таблица 2).

Таблица 2 – Частота встречаемости аллелей и генотипов гена пролактин

| Ген/<br>генотип         | n   | Частота встречаемости ± sp       |            | H <sub>obs</sub> | H <sub>ex</sub> | ТГ  | χ <sup>2</sup> |
|-------------------------|-----|----------------------------------|------------|------------------|-----------------|---|----------------|
|                         |     | аллелей                          | генотипов  |                  |                 |   |                |
| <i>PRL<sup>AA</sup></i> | 186 | A – 0,81±0,019<br>B – 0,19±0,035 | 0,75±0,032 | 0,15             | 0,22            | -0,07<br>H <sub>obs</sub> < H <sub>ex</sub> | 52,95          |
| <i>PRL<sup>AB</sup></i> | 32  |                                  | 0,13±0,059 |                  |                 |   |                |
| <i>PRL<sup>BB</sup></i> | 30  |                                  | 0,12±0,059 |                  |                 |   |                |

Примечания: sp – ошибка частот генотипов/аллелей; уровень значимости p < 0,05

Установлены высокая частота встречаемости аллеля *PRL<sup>A</sup>* и низкая аллеля *PRL<sup>B</sup>*, преобладание генотипа *PRL<sup>AA</sup>* – 75,0 %.

Уровень наблюдаемой гетерозиготности (H<sub>obs</sub>) гена *PRL* на 31,8 % ниже ожидаемой (H<sub>ex</sub>). Тест гетерозиготности (ТГ) для гена *PRL* отрицательный и составил - 0,07. Критерий соответствия Пирсона (χ<sup>2</sup>) в гене *PRL* составил 52,95, что свидетельствует о несоответствии фактического распределения генотипов теоретически ожидаемому из-за преобладания гомозиготных особей.

### 2.2.4. Генетический полиморфизм в гене *β-LG*

В гене *β-LG* исследована мутация rs 430610497, приводящая к замене кодона САС на ТАС и, соответственно, аминокислоты гистидин на тирозин (р.Туг36His). Выявлено два аллеля *β-LG<sup>A</sup>*, *β-LG<sup>B</sup>* и три генотипа *β-LG<sup>AA</sup>*, *β-LG<sup>BB</sup>*, *β-LG<sup>AB</sup>* с разными частотами встречаемости, при этом отмечается преобладание аллеля – *β-LG<sup>B</sup>* над аллелем *β-LG<sup>A</sup>* почти в два раза (таблица 3).

Таблица 3 – Частота встречаемости аллелей и генотипов гена бетта-лактоглобулин

| Ген/<br>генотип          | n   | Частота встречаемости ± sp       |            | H <sub>obs</sub> | H <sub>ex</sub> | ТГ  | χ <sup>2</sup> |
|--------------------------|-----|----------------------------------|------------|------------------|-----------------|---|----------------|
|                          |     | аллелей                          | генотипов  |                  |                 |   |                |
| <i>β-LG<sup>AA</sup></i> | 27  | A – 0,34±0,028<br>B – 0,66±0,023 | 0,11±0,060 | 0,86             | 0,81            | +0,05<br>H <sub>obs</sub> > H <sub>ex</sub> | 0,26           |
| <i>β-LG<sup>AB</sup></i> | 115 |                                  | 0,46±0,046 |                  |                 |   |                |
| <i>β-LG<sup>BB</sup></i> | 106 |                                  | 0,43±0,048 |                  |                 |   |                |

Примечания: sp – ошибка частот генотипов/аллелей; уровень значимости p < 0,05

Тест гетерозиготности (ТГ), свидетельствующий об уровне генетического разнообразия популяции, в гене *β-LG* имел положительное значение и составил + 0,05. Согласно уравнения Харди-Вайнберга и критерия χ<sup>2</sup> было доказано, что генетическое равновесие по гену *β-LG* соблюдается, критерий Пирсона не превышал критического значения (p<0,05).

### 2.2.5. Генетико-статистический анализ овец породы лакон по генам *GDF9*, *PRL*, $\beta$ -*LG*

Проведён генетико-статистический анализ и определены числовые значения основных генетических констант.

Свидетельствующая о консолидации генов степень гомозиготности (*Ca*) была самой высокой в гене *GDF9* – 82,0 %, в гене *PRL* составила 69,22 %, в гене  $\beta$ -*LG* – 55,12 %. Уровень полиморфности – показатель числа действующих эффективных аллелей (*Na*), составил 1,45; 1,82; 1,22 у генов *PRL*,  $\beta$ -*LG*, *GDF9* соответственно. Степень генетической изменчивости (*V*) была сравнительно равномерной в генах *PRL* – 30,6,  $\beta$ -*LG* – 44,6 и низкой (18,0) в гене *GDF9*.

Величина информационного полиморфизма (*PIC*) определяется способностью маркера выявлять полиморфизм популяции в зависимости от количества обнаруженных аллелей и распределения их частот. Для генетических маркеров, таких, как *PRL*,  $\beta$ -*LG*, расчёт значения *PIC* показал примерно равное их селекционное значение – 0,31 и 0,45 соответственно, а для гена *GDF9* показатель равнялся 0,18.

### 2.2.6. Биохимические показатели крови овец породы лакон у носителей разных генотипов по генам *GDF9*, *PRL*, $\beta$ -*LG*

Анализ результатов биохимических исследований показал, что в основном изучаемые показатели находились в пределах референсных значений для овец, которые приводятся в источниках J.J. Kaneko (1997), И.П. Кондрахин (2004), N. Roubies et al (2006).

Концентрация общего белка в крови животных носителей гомозиготных генотипов *GDF9<sup>AA</sup>*, *PRL<sup>BB</sup>* и  $\beta$ -*LG<sup>AA</sup>* составила 72,03, 71,59 и 69,05 г/л соответственно, что на 12,1, 13,0, и 15,9 % больше уровня, отмеченного у носителей гомозиготных генотипов *GDF9<sup>GG</sup>*, *PRL<sup>AA</sup>*,  $\beta$ -*LG<sup>BB</sup>*.

Уровень альбуминов у исследуемых животных изменялся в пределах от 30,03 до 39,30 г/л и находился на уровне референсных данных. Содержание глобулинов было в пределах от 29,53 до 33,96 г/л. Величина альбумин-глобулинового коэффициента (*A/G*) у животных носителей гомозиготного генотипа *GDF9<sup>AA</sup>* (1,20) была на 20,0 % выше, чем у овцематок с генотипом *GDF9<sup>GG</sup>* (1,00). Уровень мочевины у исследуемых животных изменялся от 8,45 до 8,75 ммоль/л, находился в пределах физиологической нормы. Однако у овец носителей генотипов *PRL<sup>AA</sup>*,  $\beta$ -*LG<sup>AA</sup>*, *GDF9<sup>AG</sup>* содержание этого продукта белкового метаболизма было выше, по сравнению с животными других генотипов, что предположительно связано с их большей продуктивностью, определяющей более интенсивный белковый обмен и соответственно большую мочеобразующую активность печени.

В сыворотке крови овец концентрация креатинина находилась в узком диапазоне – от 70,34 до 71,97 мкмоль/л. В гене *GDF9* достоверность разницы у разных генотипов не установлено, из этого можно сделать заключение, что уровень креатинина в крови не зависит от генотипа.

Высокий уровень показателей АСТ отмечался у животных с гомозиготными генотипами *GDF9<sup>AA</sup>*, *PRL<sup>BB</sup>*,  $\beta$ -*LG<sup>BB</sup>*, что на 2,4; 2,8 и 6,2 %, выше показателей

животных, имеющих генотип  $GDF9^{GG}$ ,  $PRL^{AB}$ ,  $\beta-LG^{AB}$ . Показатель АЛТ в разрезе всех генотипов оставался на относительно постоянном уровне в диапазоне от 20,11 до 22,23 МЕ/л.

Уровень щелочной фосфатазы у овцематок с генотипами  $GDF9^{GG}$ ,  $PRL^{BB}$  и  $\beta-LG^{AB}$  составил 181,43; 187,43; 189,93 МЕ/л соответственно, что достоверно выше в сравнении с животными носителями генотипов  $GDF9^{AA}$ ,  $PRL^{AA}$ ,  $\beta-LG^{BB}$  на 10,3; 12,0 и 14,8 % ( $p < 0,001$ ) соответственно.

Так как становление иммунного статуса и процесса индивидуального развития находится под генетическим контролем, то по уровню генетически детерминированных Т-, В-клеток и их субпопуляций в периферической крови овец породы лакон разных генотипов судили о формировании защитного потенциала.

Установлено, что в крови овец носителей гомозиготных генотипов  $GDF9^{AA}$ ,  $PRL^{BB}$  и  $\beta-LG^{AA}$  циркулировало большее количество Т-лимфоцитов, по сравнению с животными генотипов  $GDF9^{AG}$ ,  $PRL^{AA}$ ,  $\beta-LG^{BB}$  на 53,7; 14,8 и 21,7 % ( $p < 0,01$ ).

Концентрация В-лимфоцитов находилась в диапазоне от минимального значения ( $0,24 \times 10^9/\text{л}$ ) у овцематок с генотипом  $\beta-LG^{BB}$  до максимального ( $0,37 \times 10^9/\text{л}$ ) у животных носителей гетерозиготного генотипа  $GDF9^{AG}$ .

Относительное изучение взаимоотношения между субпопуляциями Т-хелперов и Т-супрессоров установлено, что в крови овцематок, имеющих генотипы  $GDF9^{AA}$ ,  $PRL^{BB}$ ,  $\beta-LG^{AA}$ , мигрировало Т-хелперов больше, чем Т-супрессоров.

Величина иммунорегуляторного индекса (ИРИ) (отношение Т-хелперов к Т-супрессорам) оказалась выше у овец с гомозиготными генотипами  $GDF9^{AA}$ ;  $PRL^{BB}$  и  $\beta-LG^{AA}$  и составила 1,29; 1,32 и 1,23 соответственно.

### **2.2.7. Характеристика овцематок разных генотипов в гене $GDF9$ по воспроизводительным качествам**

От животных с гомозиготным генотипом  $GDF9^{AA}$  получено больше ягнят на 14,2 % в сравнении с гомозиготным генотипом  $GDF9^{GG}$ , и на 1,2 % больше в сравнении с животными гетерозиготного генотипа  $GDF9^{AG}$ . Наибольшая живая масса ягнят при рождении выявлена у овцематок с гомозиготным генотипом  $GDF9^{AA}$ , как в случае с одинцовым приплодом, так и с двойнёвым.

### **2.2.8. Молочная продуктивность овец разных генотипов в гене $GDF9$**

Удой овцематок с гетерозиготным вариантом генотипа  $GDF9^{AG}$  достоверно превышал удой овец с генотипами  $GDF9^{GG}$ ,  $GDF9^{AA}$  на 7,80 и 1,60 кг молока соответственно ( $p < 0,01$ ). Содержание жира в молоке было максимальным у овцематок с генотипом  $GDF9^{AA}$  (7,08 %), что превосходило на 0,17 и 0,13 абс. процента ( $p < 0,05$ ) данный показатель у животных  $GDF9^{AG}$  и  $GDF9^{AA}$  генотипов. Наибольшее содержание белка в молоке отмечено у овец с генотипом  $GDF9^{AA}$  (6,17 %). Выход белка из молока овец с генотипами  $GDF9^{AA}$ ,  $GDF9^{AG}$  имел наивысший показатель и превосходил количество белка в молоке овец с генотипом  $GDF9^{GG}$  на 0,51 и 0,04 кг ( $p < 0,05$ ) соответственно (таблица 4).

Таблица 4 – Молочная продуктивность овец породы лакон с разными генотипами по гену *GDF9*

| Генотип                            | Удой, кг                        | Жир, %                         | Жир, кг                       | Белок, %                      | Белок, кг                    |
|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| <i>GDF9<sup>AA</sup></i> (n = 17)  | 264,80*** <sup>1</sup><br>±0,60 | 7,08** <sup>1,2</sup><br>±0,03 | 18,75** <sup>1</sup><br>±0,14 | 6,17* <sup>1,2</sup><br>±0,01 | 16,34* <sup>1</sup><br>±0,11 |
| <i>GDF9<sup>AG</sup></i> (n = 15)  | 266,41* <sup>3</sup><br>±0,51   | 6,91<br>±0,04                  | 18,41* <sup>3</sup><br>±0,17  | 6,12<br>±0,02                 | 16,30* <sup>3</sup><br>±0,14 |
| <i>GDF9<sup>GG</sup></i> (n = 216) | 258,60<br>±1,1                  | 6,95<br>±0,02                  | 17,97<br>±0,18                | 6,14<br>±0,01                 | 15,83<br>±0,09               |

Примечание: \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$  при сравнении генотипов  
<sup>1</sup>*GDF9<sup>AA</sup>* с *GDF9<sup>GG</sup>*; <sup>2</sup>*GDF9<sup>AA</sup>* с *GDF9<sup>AG</sup>*; <sup>3</sup>*GDF9<sup>AG</sup>* с *GDF9<sup>GG</sup>*

Таким образом, овцы с гетерозиготным генотипом *GDF9<sup>AG</sup>* превосходили сверстниц других генотипов по удою, тогда как овцематки носители гомозиготного генотипа *GDF9<sup>AA</sup>* имели более высокий уровень содержания жира и белка в молоке.

### 2.2.9. Молочная продуктивность овец разных генотипов в гене *PRL*

Выявлено, что овцематки с генотипом *PRL<sup>AA</sup>* имели достоверное превосходство по уровню удоя над животными с генотипами *PRL<sup>BB</sup>* и *PRL<sup>AB</sup>* на 9,5 кг и 7,7 кг молока соответственно ( $p < 0,01$ ) (таблица 5).

Таблица 5 – Молочная продуктивность овец породы лакон с разными генотипами по гену *PRL*

| Генотип                           | Удой, кг                         | Жир, %                         | Жир, кг        | Белок, %                     | Белок, кг      |
|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|
| <i>PRL<sup>AA</sup></i> (n = 186) | 270,21** <sup>1,2</sup><br>±0,90 | 6,89<br>±0,02                  | 18,62<br>±0,26 | 6,10<br>±0,02                | 16,48<br>±0,12 |
| <i>PRL<sup>AB</sup></i> (n = 32)  | 262,52<br>±1,01                  | 6,96* <sup>3</sup><br>±0,02    | 18,27<br>±0,38 | 6,17* <sup>3</sup><br>±0,02  | 16,19<br>±0,21 |
| <i>PRL<sup>BB</sup></i> (n = 30)  | 260,71<br>±1,03                  | 7,05** <sup>4,5</sup><br>±0,06 | 18,38<br>±0,34 | 6,19** <sup>5</sup><br>±0,04 | 16,40<br>±0,19 |

Примечание: \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$  при сравнении генотипов  
<sup>1</sup>*PRL<sup>AA</sup>* с *PRL<sup>AB</sup>*; <sup>2</sup>*PRL<sup>AA</sup>* с *PRL<sup>BB</sup>*; <sup>3</sup>*PRL<sup>AB</sup>* с *PRL<sup>AA</sup>*; <sup>4</sup>*PRL<sup>BB</sup>* с *PRL<sup>AA</sup>*; <sup>5</sup>*PRL<sup>BB</sup>* с *PRL<sup>AB</sup>*

При более высоком удое содержание жира в молоке овец с генотипом *PRL<sup>AA</sup>* было достоверно ниже ( $p < 0,05$ ), чем у овец с генотипами *PRL<sup>BB</sup>* и *PRL<sup>AB</sup>*, но за счёт более высокого удоя выход жира у этих животных был наибольшим.

Содержание белка в молоке овец с различными генотипами гена пролактина имело аналогичные закономерности, установленные для содержания жира. Овцы с генотипами *PRL<sup>BB</sup>* и *PRL<sup>AB</sup>* превосходили овцематок с генотипом *PRL<sup>AA</sup>* по белковомолочности на 1,48-1,15 % ( $p < 0,05$ ). Более высокий удой обеспечивал превосходство по выходу молочного белка овцематкам с генотипом *PRL<sup>AA</sup>* над животными с генотипами *PRL<sup>AB</sup>* и *PRL<sup>BB</sup>* на 0,29 кг и 0,34 кг соответственно.

Таким образом, овцы с генотипом *PRL<sup>AA</sup>* превосходили сверстниц с другими генотипами по удою, выходу молочного жира и белка. Однако овцы с генотипом

$PRL^{BB}$  имели более высокий уровень массовой доли жира и белка по сравнению с животными с генотипами  $PRL^{AA}$ .

### 2.2.10. Молочная продуктивность овец разных генотипов в гене $\beta-LG$

Сравнительный анализ молочной продуктивности овец с разными генотипами  $\beta-LG$  указывает на более высокие показатели удоя у овец, имеющих в своём геноме аллель  $\beta-LG^A$ , то есть с генотипами  $\beta-LG^{AA}$  и  $\beta-LG^{AB}$ . Больше всего молока было получено от овец с генотипом  $\beta-LG^{AA}$ , они имели преимущество над сверстницами с генотипами  $\beta-LG^{BB}$  и  $\beta-LG^{AB}$  на 9,6 кг и 7,6 кг молока ( $p < 0,01$ ) соответственно.

Овцематки, имеющие аллель  $\beta-LG^B$ , отличались более высокими показателями содержания в молоке жира и белка по сравнению с животными с генотипом  $\beta-LG^{AA}$ . Овцематки с генотипами  $\beta-LG^{BB}$  и  $\beta-LG^{AB}$  превосходили животных с генотипом  $\beta-LG^{AA}$  по содержанию жира в молоке соответственно на 3,78 и 2,15 % ( $p < 0,01$ ) (таблица 6).

Таблица 6 – Молочная продуктивность овец с разными генотипами по гену  $\beta-LG$

| Генотип                   | Удой, кг                        | Жир, %                         | Жир, кг        | Белок, %                     | Белок, кг      |
|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------|------------------------------|----------------|
| $\beta-LG^{AA}$ (n = 27)  | 273,7** <sup>1,2</sup><br>±1,10 | 6,88<br>±0,04                  | 18,83<br>±0,24 | 6,11<br>±0,01                | 16,72<br>±0,18 |
| $\beta-LG^{AB}$ (n = 115) | 266,1<br>±0,70                  | 6,99* <sup>3</sup><br>±0,02    | 18,01<br>±0,11 | 6,16* <sup>3</sup><br>±0,02  | 16,39<br>±0,12 |
| $\beta-LG^{BB}$ (n = 106) | 264,1<br>±0,80                  | 7,14** <sup>4,5</sup><br>±0,03 | 18,86<br>±0,17 | 6,18** <sup>4</sup><br>±0,03 | 16,32<br>±0,14 |

Примечание: \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$  при сравнении генотипов  
<sup>1</sup> $\beta-LG^{AA}$  с  $\beta-LG^{AB}$ ; <sup>2</sup> $\beta-LG^{AA}$  с  $\beta-LG^{BB}$ ; <sup>3</sup> $\beta-LG^{AB}$  с  $\beta-LG^{AA}$ ; <sup>4</sup> $\beta-LG^{BB}$  с  $\beta-LG^{AA}$ ; <sup>5</sup> $\beta-LG^{BB}$  с  $\beta-LG^{AB}$

Наибольшее количество молочного жира было получено от овец с генотипом  $\beta-LG^{BB}$  – 18,86 кг, что на 0,26 кг (1,40 %) больше жира, чем от овец генотипом  $\beta-LG^{AB}$ .

Массовая доля белка в молоке овец трёх генотипов варьировала в пределах от 6,11 до 6,18 %. Овцы с генотипом  $\beta-LG^{BB}$  превосходили сверстниц генотипом  $\beta-LG^{AA}$  и  $\beta-LG^{AB}$  по содержанию белка в молоке на 1,15 и 0,32 %, но за счёт меньшего удоя уступали им по выходу молочного белка на 0,4 кг 0,07 кг соответственно.

Таким образом, овцы с генотипами  $\beta-LG^{AA}$  и  $\beta-LG^{AB}$  превосходили животных с генотипом  $\beta-LG^{BB}$  по удою и по выходу молочного белка.

### 2.2.11. Влияние живой массы на молочную продуктивность овец с разными генотипами

Сопоставление живой массы овцематок разных генотипов по гену  $GDF9$  позволило установить достоверное превосходство животных  $GDF9^{AA}$  при осеменении, в середине и конце лактации при сравнении с животными  $GDF9^{GG}$  генотипа. Разница колебалась в пределах 1,7-2,0 кг ( $p < 0,05$ ). Животные  $GDF9^{AG}$  генотипа имели превосходство над животными  $GDF9^{GG}$  генотипа при осеменении и в конце лактации. Полученные данные позволяют предположить, что

носительство аллели А в гене *GDF9* положительно влияет на живую массу овец породы лакон.

Сравнение живой массы овцематок разных генотипов по генам *PRL* и  $\beta$ -*LG* не выявило однозначного превосходства какого-либо генотипа в учтённые периоды. Так, если овцематки  $PRL^{AB}$  генотипа имели преимущество при осеменении и в начале лактации, то носители  $PRL^{AA}$  выделялись по этому признаку в середине лактации, тогда как в конце лактации между животными разных генотипов разницы по живой массе не установлено. Животные  $\beta$ -*LG*<sup>BB</sup> генотипа имели преимущество при осеменении,  $\beta$ -*LG*<sup>AB</sup> – в начале лактации, тогда как в конце лактации по этому признаку превосходство было на стороне животных  $\beta$ -*LG*<sup>AA</sup> генотипа (таблица 7).

Таблица 7 – Коэффициент молочности овцематок разных генотипов

| Генотип                                     | Показатель                                      |                           |
|---|---|---------------------------|
|   | Средняя живая масса за весь период лактации, кг | Коэффициент молочности, % |
| <b><i>GDF9</i></b>                          |   |                           |
| <i>GDF9</i> <sup>GG</sup> (n = 216)         | 63,86 ± 1,9                                     | 399,32                    |
| <i>GDF9</i> <sup>AG</sup> (n = 15)          | 64,41 ± 2,3                                     | 413,64                    |
| <i>GDF9</i> <sup>AA</sup> (n = 17)          | 64,76 ± 2,2                                     | 414,66                    |
| <b><i>PRL</i></b>                           |   |                           |
| <i>PRL</i> <sup>AA</sup> (n = 186)          | 65,34 ± 2,4                                     | 413,57                    |
| <i>PRL</i> <sup>AB</sup> (n = 32)           | 65,41 ± 2,8                                     | 401,35                    |
| <i>PRL</i> <sup>BB</sup> (n = 30)           | 65,90 ± 2,2                                     | 401,71                    |
| <b><math>\beta</math>-<i>LG</i></b>         |   |                           |
| $\beta$ - <i>LG</i> <sup>AA</sup> (n = 27)  | 65,19 ± 2,7                                     | 419,83                    |
| $\beta$ - <i>LG</i> <sup>AB</sup> (n = 115) | 64,25 ± 2,1                                     | 414,14                    |
| $\beta$ - <i>LG</i> <sup>BB</sup> (n = 106) | 64,06 ± 2,2                                     | 412,29                    |

Коэффициент молочности позволяет судить о связи живой массы и молочной продуктивности. Установлено, что у животных носителей гомозиготных генотипов  $GDF9^{AA}$ ,  $PRL^{AA}$  и  $\beta$ -*LG*<sup>AA</sup> коэффициент молочности оказался выше по сравнению с гомозиготными овцами  $GDF9^{GG}$ ,  $PRL^{BB}$ ,  $\beta$ -*LG*<sup>BB</sup> на 15,30; 11,86 и 7,54 абс. процента соответственно.

Таким образом, овцематки с большей массой дают более высокие показатели удоя молока и такими животными в породе лакон являются носители гомозиготных генотипов по аллелю А в генах *GDF9*, *PRL* и  $\beta$ -*LG*.

### 2.2.12. Молочная продуктивность овец породы лакон комплексных генотипов по генам *PRL* и $\beta$ -*LG*

В связи с полигенным характером формирования лактационных признаков анализ и прогноз показателей молочной продуктивности следует проводить с учётом генотипа по нескольким генам.

Из девяти теоретических возможных комплексных генотипов по исследованию поголовья выявлены все девять генокомплексов.

Наиболее часто встречались животные с комплексным генотипом  $PRL^{AA}\beta-LG^{AB}$  (33,5 %) и  $PRL^{AA}\beta-LG^{BB}$  (32,2 %), четыре генокомплекса –  $PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$ ,  $PRL^{BB}\beta-LG^{AB}$ ,  $PRL^{AB}\beta-LG^{BB}$ ,  $PRL^{AB}\beta-LG^{AB}$ , имели частоту встречаемости от 5,2 до 9,3 % (рисунок 2).

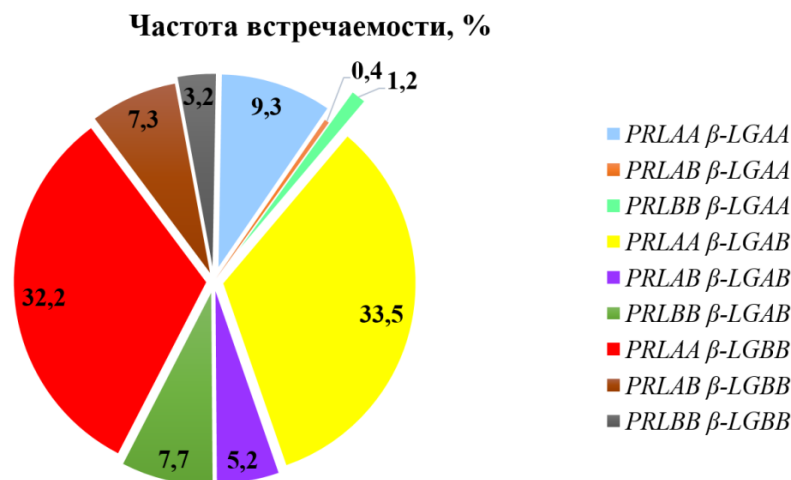


Рисунок 2 – Встречаемость комплексных генотипов  $PRL$  и  $\beta-LG$  у овец породы лакон

Частота встречаемости других комплексных генотипов была незначительная. Так, частота встречаемости генотипов  $PRL^{BB}\beta-LG^{BB}$ ,  $PRL^{BB}\beta-LG^{AA}$  не превышала 5,0 % и составила 3,2 и 1,2 % соответственно. Наименьшая встречаемость отмечена у генокомплекса  $PRL^{AB}\beta-LG^{AA}$  (0,4 %).

Было исследовано влияние на молочную продуктивность и качество молока комплексных генотипов, частота встречаемости которых выше 5,0 %. Результаты представлены на рисунке 3.

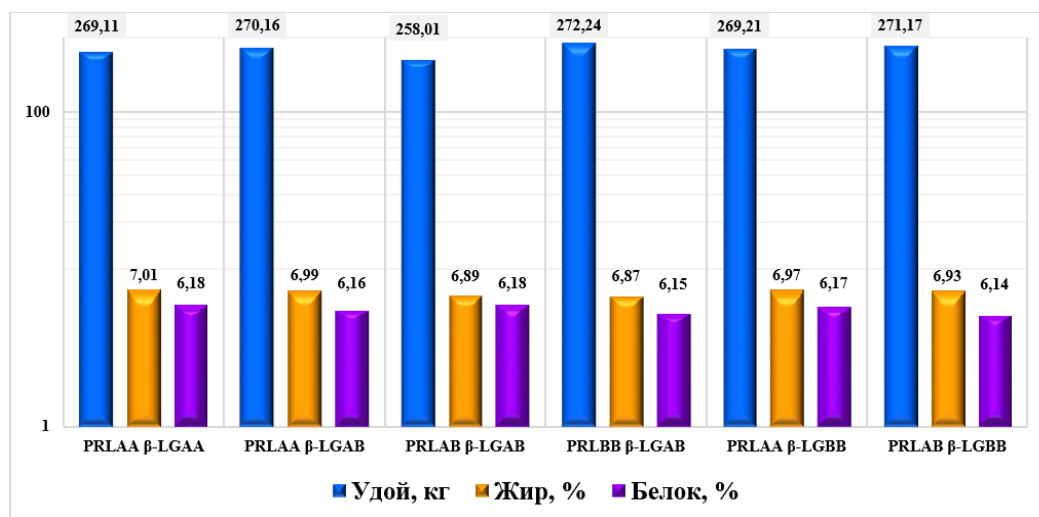


Рисунок 3 – Показатели молочной продуктивности у овец породы лакон комплексных генотипов по генам  $PRL$  и  $\beta-LG$

Наиболее высокими показателями удоев за лактацию отличались овцы с генотипами  $PRL^{BB}\beta-LG^{AB}$  (272,24 кг) и  $PRL^{AB}\beta-LG^{BB}$  (271,17 кг). Овцы двух других генотипов –  $PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$  и  $PRL^{AA}\beta-LG^{BB}$ , имели сходные показатели удоев (269 кг молока). Высокое содержание жира в молоке отмечено у овец с генотипами



$PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$  (7,01 %) и  $PRL^{AA}\beta-LG^{BB}$  (6,97 %). Содержание белка в молоке овец находилось в диапазоне от 6,14 до 6,18 %, имело достаточно сходное значение во всех представленных комплексных генотипах.

### 2.2.13. Влияние комплексных генотипов в генах

#### ***PRL* и *β-LG* на приготовление сыра типа «Адыгейский»**

Молоко для получения сыра отбирали у генотипированных животных по генам *PRL* и *β-LG*. Овцематки были подразделены на четыре группы с генотипами  $PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$ ,  $PRL^{BB}\beta-LG^{BB}$ ,  $PRL^{BB}\beta-LG^{AA}$  и  $PRL^{AA}\beta-LG^{BB}$ , поскольку между этими ними были выявлены наибольшие различия по показателям молочной продуктивности.

Содержание жира в молоке у овец с генотипом  $PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$  составило 7,0 %, что выше, чем в молоке овец с генотипами  $PRL^{BB}\beta-LG^{AA}$ ,  $PRL^{BB}\beta-LG^{BB}$  и  $PRL^{AA}\beta-LG^{BB}$  на 0,01, 0,02 и 0,04 процента соответственно. Содержание белка в молоке овец имело сходное значение во всех представленных генокомплексах и находилось в диапазоне от 6,17 до 6,19 % (таблица 8).

Таблица 8 – Характеристика пригодности молока овец комплексных генотипов по генам *PRL* и *β-LG* для изготовления сыра

| Генотипы                | Показатель         |                     |                 |                              |                        |
|-------------------------|--------------------|---------------------|-----------------|------------------------------|------------------------|
|                         | Содержание жира, % | Содержание белка, % | Кислотность, °Т | Плотность, г/см <sup>3</sup> | Время свертывания, мин |
| $PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$ | 7,01               | 6,18                | 20              | 1031                         | 60                     |
| $PRL^{BB}\beta-LG^{BB}$ | 6,99               | 6,19                | 24              | 1028                         | 57                     |
| $PRL^{BB}\beta-LG^{AA}$ | 7,00               | 6,19                | 19              | 1032                         | 62                     |
| $PRL^{AA}\beta-LG^{BB}$ | 6,97               | 6,17                | 20              | 1030                         | 61                     |

Плотность и титруемая кислотность молока у всех групп были в пределах параметров, установленных для овечьего молока. Важным показателем пригодности молока для изготовления сыра является скорость сычужного свертывания. Молоко овец с генотипом  $PRL^{BB}\beta-LG^{BB}$  свертывалось быстрее, чем молоко овец с генотипами  $PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$ ,  $PRL^{BB}\beta-LG^{AA}$  и  $PRL^{AA}\beta-LG^{BB}$  соответственно на 3, 5, и 4 минуты. Сгусток из молока всех групп отличался небольшой плотностью и хорошей упругостью.

Из молока овцематок отобранных групп был изготовлен сыр типа «Адыгейский». Физико-химические показатели сыра из молока овец комплексных генотипов пролактина и бета-лактоглобулина приведены в таблице 9.

Выход сыра от овцематок-носителей генотипа  $PRL^{BB}\beta-LG^{BB}$  был выше по сравнению с генотипом  $PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$  на 5,5 %, с генотипом  $PRL^{BB}\beta-LG^{AA}$  на 4,5 %, с генотипом  $PRL^{AA}\beta-LG^{BB}$  на 3,0 %.

Массовая доля жира в сыре, изготовленного из молока от овец с генотипом  $PRL^{BB}\beta-LG^{BB}$ , после 18 часов выдержки в пересчете на сухое вещество, составила 58,30 %, что выше по сравнению с сыром из молока  $PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$ ,  $PRL^{BB}\beta-LG^{AA}$  и  $PRL^{AA}\beta-LG^{BB}$  на 3,04; 2,90; и 1,10 % соответственно. Сыр из молока овец с генотипом  $PRL^{BB}\beta-LG^{BB}$  характеризовался и меньшим содержанием влаги, которое

составило 50,0 %, тогда как в сыре из молока овец с генотипов  $PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$  этот показатель был на уровне – 56,3 %.

Таблица 9 – Физико-химические показатели сыра из молока овец комплексных генотипов по генам  $PRL$  и  $\beta-LG$

| Показатель                             | Комплексный генотип     |                         |                         |                         |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|  | $PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$ | $PRL^{BB}\beta-LG^{BB}$ | $PRL^{BB}\beta-LG^{AA}$ | $PRL^{AA}\beta-LG^{BB}$ |
| Количество молока, л                   | 3,0                     | 3,0                     | 3,0                     | 3,0                     |
| Выход сыра, %                          | 26,8                    | 32,3                    | 27,8                    | 29,3                    |
| Массовая доля жира в сухом веществе, % | 55,26                   | 58,30                   | 55,40                   | 57,20                   |
| Влага, %                               | 60,0                    | 60,7                    | 66,3                    | 65,7                    |
| Жирность сыра, %                       | 20,33                   | 23,22                   | 22,36                   | 21,65                   |
| Сухое вещество, %                      | 40,0                    | 39,3                    | 33,7                    | 34,3                    |
| pH сыра                                | 4,45                    | 4,39                    | 4,41                    | 4,43                    |

Все полученные сыры имели уплотненный, упругий наружный слой, без рисунка, нежной однородной консистенции. Сыр, изготовленный из молока от овец носителей генотипа  $PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$ , отличался более кислым вкусом, из молока овец других генотипов, имел чистый, кисломолочный вкус. Цвет теста сыра из молока овец с генотипом  $PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$  был белый с кремовым оттенком, в то время как у сыра из молока других генотипов, белый со слегка желтоватым оттенком.

Таким образом, молоко овец с комплексным генотипом  $PRL^{BB}\beta-LG^{BB}$  обладает лучшими качествами при изготовлении сыров.

#### 2.2.14. Экономическая эффективность разведения овец разных генотипов для производства молока и сыра типа «Адыгейский»

Экономическая эффективность разведения овец разных генотипов по генам  $GDF9$ ,  $PRL$ ,  $\beta-LG$ , находящихся в одинаковых условиях кормления и содержания, определялась исходя из затрат на производство молока, данных об удое и суммы, полученной от реализации молока по закупочным ценам.

Анализ полученных данных позволил заключить, что разведение овец породы лакон всех генотипов в исследованных генах выгодно. Уровень рентабельности колебался в пределах от 27,0 % до 34,5 %.

В разрезе генов  $GDF9$ ,  $PRL$ ,  $\beta-LG$  получены следующие данные. Овцы-носители AA и AG генотипов в гене  $GDF9$  имели больший удой молока по сравнению с животными GG генотипа, что позволило получить от них большую прибыль на 1,9 и 2,4 тыс. рублей и соответственно уровень рентабельности на 3,0 % и 3,6 %. В гене  $PRL$  наиболее выгодными оказались овцы с генотипом AA. Большой удой обеспечил им большую прибыль и уровень рентабельности по сравнению с животными BB генотипа на 3,0 тыс. рублей и 4,6 % соответственно. В гене  $\beta-LG$  наибольшая прибыль получена от разведения овец с генотипом AA –

30,2 тыс. рублей. За счёт большего удоя разведение этих животных рентабельнее на 3,3 % и 4,4 % соответственно по сравнению с животными АВ и ВВ генотипов.

Для оценки экономической эффективности производства 1 кг овечьего сыра типа «Адыгейский» из молока овец с разными генотипами по генам *PRL* и *β-LG* определены следующие показатели: расход молока, выход сыра, стоимость молока, израсходованного на производство 1 кг сыра. Полученные результаты позволили выявить, что выход готовой продукции – сыра «Адыгейский», из трёх килограммов молока от овец с генокомплексом *PRL<sup>BB</sup>β-LG<sup>BB</sup>* был на 20,3 % больше, чем от овец с генотипом *PRL<sup>AA</sup>β-LG<sup>AA</sup>* и на 16,0 и 3,2 %, чем от овец с генотипами *PRL<sup>BB</sup>β-LG<sup>AA</sup>* и *PRL<sup>AA</sup>β-LG<sup>BB</sup>*.

Расход молока на 1 кг сыра от овец, имеющих генотип *PRL<sup>AA</sup>β-LG<sup>AA</sup>*, составил 3,72 кг, что больше по сравнению с таковыми показателями от овец-носителей генотипов *PRL<sup>BB</sup>β-LG<sup>BB</sup>*, *PRL<sup>AA</sup>β-LG<sup>BB</sup>*, *PRL<sup>BB</sup>β-LG<sup>AA</sup>* на 0,63; 0,53 и 0,13 кг соответственно (таблица 10).

Таблица 10 – Экономическая эффективность производства сыра типа «Адыгейский» из молока овец породы лакон с разными генотипами

| Показатель  | Комплексный генотип                      |  |  |  |
|---|--|--|--|--|
|   | <i>PRL<sup>AA</sup>β-LG<sup>AA</sup></i> | <i>PRL<sup>BB</sup>β-LG<sup>BB</sup></i> | <i>PRL<sup>BB</sup>β-LG<sup>AA</sup></i> | <i>PRL<sup>AA</sup>β-LG<sup>BB</sup></i> |
| Количество молока, кг   | 3,0                                      | 3,0                                      | 3,0                                      | 3,0                                      |
| Выход сыра, г   | 806,0                                    | 970,0                                    | 836,0                                    | 940,0                                    |
| Расход молока на 1 кг сыра, кг                                    | 3,72                                     | 3,09                                     | 3,59                                     | 3,19                                     |
| Реализационная стоимость 1 кг молока, руб.                        | 310,0                                    | 310,0                                    | 310,0                                    | 310,0                                    |
| Стоимость молока израсходованного на производство 1 кг сыра, руб. | 1153,2                                   | 957,9                                    | 1112,9                                   | 988,9                                    |

На изготовление 1 кг сыра от овцематок носителей генотипа *PRL<sup>BB</sup>β-LG<sup>BB</sup>* при стоимости 310 руб. за 1 кг молока затраты составили 957,9 рублей, что на 195,3 рублей или 16,9 % меньше, в сравнении с затратами при изготовлении сыра, полученного из молока овец-носителей гомозиготного генотипа *PRL<sup>AA</sup>β-LG<sup>AA</sup>*.

Таким образом, большая массовая доля белка у животных с комплексным генотипом *PRL<sup>BB</sup>β-LG<sup>BB</sup>* обеспечило им преимущество по сравнению с животными генотипа *PRL<sup>AA</sup>β-LG<sup>AA</sup>*, которые демонстрировали большую рентабельность при производстве валового объема молока, без относительного анализа с точки зрения изготовления из него сыра.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В главе сопоставлены собственные результаты исследований с данными, полученными другими авторами по аналогичным исследованиям на других породах овец. Показаны общие тенденции и найдены различия, обосновывающие целесообразность дальнейших исследований в данном направлении.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования позволили получить данные, имеющие теоретическое и практическое значение, которые дополняют и расширяют сведения о полиморфизме генов *GDF9*, *PRL*,  $\beta$ -*LG*, контролирующих количественно-качественные характеристики молока овец породы лакон, позволившие сформировать следующие выводы:

1. Полиморфизм генов *GDF9*, *PRL*,  $\beta$ -*LG* в исследованной популяции овец породы лакон представлен двумя аллелями с частотой встречаемости:  $GDF9^A$  – 0,10;  $GDF9^G$  – 0,90;  $PRL^A$  – 0,81;  $PRL^B$  – 0,19;  $\beta$ - $LG^A$  – 0,34;  $\beta$ - $LG^B$  – 0,66; и тремя генотипами, гомозиготными:  $GDF9^{AA}$  – 0,83;  $GDF9^{GG}$  – 0,87;  $PRL^{AA}$  – 0,75;  $PRL^{BB}$  – 0,12;  $\beta$ - $LG^{AA}$  – 0,11;  $\beta$ - $LG^{BB}$  – 0,43; гетерозиготными:  $GDF9^{AG}$  – 0,06;  $PRL^{AB}$  – 0,13;  $\beta$ - $LG^{AB}$  – 0,46.

2. Биохимические показатели крови у овец породы лакон за исключением щелочной фосфатазы находились в пределах референтных показателей для данного вида животных.

У овец генотипов  $PRL^{AA}$ ,  $\beta$ - $LG^{AA}$ ,  $GDF9^{AG}$  и  $PRL^{BB}$ ,  $\beta$ - $LG^{BB}$  достоверно выше были уровень мочевины и активность ферментов переаминирования, что связано с их большими обильномолочностью и массовой долей белка в молоке.

3. В крови овец гомозиготных генотипов  $GDF9^{AA}$ ,  $PRL^{BB}$ ,  $\beta$ - $LG^{AA}$  циркулировало большее количество Т-лимфоцитов, по сравнению с животными  $GDF9^{AG}$ ,  $PRL^{AA}$ ,  $\beta$ - $LG^{BB}$  генотипов на 53,7; 14,8; 21,7 % ( $p < 0,01$ ).

4. Генотип по гену *GDF9* оказывал влияние на показатели воспроизводства у овец породы лакон. Носительство аллеля А способствовало плодовитости и рождению более крупных ягнят: от овцематок с генотипами  $GDF9^{AA}$  и  $GDF9^{AG}$  получено больше на 0,8 и 0,5 ягнёнка с большей в среднем на 0,3 кг ( $p < 0,05$ ) живой массой при рождении, чем от овцематок с генотипом  $GDF9^{GG}$ .

5. Генотипы по генам *GDF9*, *PRL*,  $\beta$ -*LG* оказывали влияние на уровень молочной продуктивности овец породы лакон:

5.1. Удой овцематок с генотипами  $GDF9^{AA}$  и  $GDF9^{AG}$  превышал удой овец с генотипом  $GDF9^{GG}$  на 6,2 и 7,80 кг молока соответственно ( $p < 0,01$ ). При этом овцы с генотипом  $GDF9^{AA}$  имели и более высокое содержание жира и белка по сравнению с овцами других генотипов. Разница по общему выходу этих компонентов над животными  $GDF9^{GG}$  составила 0,78 и 0,51 кг и была достоверной.

5.2. Овцы с генотипом  $PRL^{AA}$  имели превосходство по уровню удоя над животными с генотипами  $PRL^{BB}$  и  $PRL^{AB}$  на 9,5 и 7,7 кг ( $p < 0,05$ ). Несмотря на то, что массовая доля жира и белка в молоке овец с генотипом  $PRL^{AA}$  была ниже, чем

у овец с генотипом  $PRL^{BB}$ , однако больший удой обеспечивал им преимущество по общему выходу этих компонентов за всю лактацию над животными  $PRL^{AB}$  и  $PRL^{BB}$  генотипов.

5.3. Большой обильномолочностью отличались овцы с генотипом  $\beta-LG^{AA}$ , которые имели преимущество над животными с генотипами  $\beta-LG^{BB}$  и  $\beta-LG^{AB}$  на 9,6 и 7,6 кг молока ( $p < 0,01$ ). Наиболее высокие показатели жирномолочности отмечены у овец с генотипом  $\beta-LG^{BB}$  (7,14 %).

5.4. Овцематки гомозиготных генотипов  $GDF9^{AA}$ ,  $PRL^{AA}$  и  $\beta-LG^{AA}$  имели большую живую массу и характеризовались более высокими удоями, что выразилось в большем уровне коэффициента молочности.

6. Молоко овец с генотипом  $PRL^{BB}\beta-LG^{BB}$  свертывалось быстрее от 2 до 5 минут, чем молоко овец с генотипами  $PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$ ,  $PRL^{BB}\beta-LG^{AA}$ ,  $PRL^{AA}\beta-LG^{BB}$ . Сырный сгусток из молока всех генотипов характеризовался оптимальной плотностью и хорошей упругостью.

7. Выход сыра типа «Адыгейский», полученного из молока от овцематок-носителей генотипа  $PRL^{BB}\beta-LG^{BB}$ , выше по сравнению с аналогичным показателем из молока овец с генотипами  $PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$ ,  $PRL^{BB}\beta-LG^{AA}$ ,  $PRL^{AA}\beta-LG^{BB}$  соответственно на 5,5; 4,5 и 3,0 %, при этом в нем отмечена и большая массовая доля жира на 3,04; 2,90; и 1,10 % соответственно.

8. Расчёт экономической эффективности позволил установить, что разведение овец породы лакон всех генотипов выгодно. Уровень рентабельности колебался в пределах от 27,0 до 34,5 %.

8.1. В гене  $GDF9$  наиболее выгодными для производства и реализации молока оказались овцы с генотипом  $GDF9^{AA}$ , уровень рентабельности которых был в среднем на 3,2 % выше, в сравнении с овцами других генотипов. В генах  $PRL$ ,  $\beta-LG$  большей рентабельностью на 4,1 и 3,9 % отличались соответственно генотипы  $PRL^{AA}$  и  $\beta-LG^{AA}$ .

8.2. При производстве сыра типа «Адыгейский» наименьшее количество молока на единицу продукции затрачено при использовании молока от овец комплексного генотипа  $PRL^{BB}\beta-LG^{BB}$ , что в сравнении с использованием молока от овец генотипа  $PRL^{AA}\beta-LG^{AA}$  уменьшало затраты в денежном выражении на 16,9 %.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

В программу селекционно-племенной работы со стадом овец породы лакон включать генотипирование по генам  $GDF9$ ,  $PRL$  и  $\beta-LG$ .

Проводить отбор носителей желательных генотипов, при этом учитывать, что наиболее ценными для селекции на увеличение обильномолочности являются животные генотипов  $GDF9^{AG}$ ,  $PRL^{AA}$  и  $\beta-LG^{AA}$ , на повышения пригодности молока для изготовления сыра –  $PRL^{BB}\beta-LG^{BB}$ .

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

В дальнейших исследованиях целесообразно продолжить поиск новых генов-маркёров, ассоциированных с хозяйственно ценными признаками овец молочного направления продуктивности, что будет способствовать повышению их продуктивности.

Полученные данные будут носить теоретическое, практическое значение, позволят создавать новые тест-системы для ранней диагностики признаков продуктивности и разрабатывать современные рекомендации по выведению отечественных пород овец молочного направления.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Публикации в журналах ВАК Минобрнауки РФ и работы к ним приравненные:

1. Селионова, М.И. Особенности аллельного полиморфизма генов пролактина, бета-лактоглобулина у овец породы лакон / М.И. Селионова, Д.Д. Евлагина, С.И. Светличный // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2021. – №3. – С. 28-31. – doi: 10.26897/2074-0840-2021-3-28-31.

2. Евлагина, Д.Д. Полиморфизм генов пролактина (PRL), бета-лактоглобулина (B-LG) овец породы лакон и их связь с молочной продуктивностью / Д.Д. Евлагина // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2021. – Т.7. – № 4. – С. 335–342. – doi: 10.30914/2411-9687-2021-7-4-335-342.

3. Евлагина, Д.Д. Связь генотипов по генам  $\beta$ -LG и PRL с молочной продуктивностью овец породы лакон, составом и выходом сыра / Д.Д. Евлагина, М.И. Селионова // Зоотехния. – 2022. – №4. – С.37-40. – doi: 10.25708/ZT.2022.57.68.010.

### Публикации в журналах, индексируемых Web of Science и Scopus:

4. Selionova, M. Lacaune Sheep Beta-Lactoglobulin ( $\beta$ -LG) Gene Polymorphism and the Relationship of Its Genotypes to Milk Productivity Indices / M. Selionova, S. Svetlichny, D. Evlagina // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 354 LNNS. – P. 270-276. – doi: 10.1007/978-3-030-91405-9\_29.

### Публикации в других изданиях

5. Селионова, М.И. Полиморфизм генов PRL, B-LG у овец породы лакон / М.И. Селионова, Л.Н. Чижова, Е.С. Суржикова, Д.Д. Петухова (Д.Д. Евлагина), С.И. Светличный // Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии. – 2020. – Т. 9. – № 1. – С. 54-57. – doi:10.34617/e8nh-z971.

6. Петухова, Д.Д. (Евлагина Д.Д.) Характеристика аллельного спектра генов GDF9, PRL,  $\beta$ -LG овец породы лакон / Д.Д. Петухова (Д.Д. Евлагина) // Сельскохозяйственный журнал. – 2020. – № 5(13). – С. 73-79. – doi: 10.25930/2687-1254/012.5.13.2020.

7. Селионова, М.И. Полиморфизм гена GDF9 и его связь с молочной продуктивностью овец породы лакон / М.И. Селионова, Д.Д. Евлагина, С.И. Светличный // В сборнике: Материалы 3-й Международной научно-практической конференции «Молекулярно-генетические технологии анализа экспрессии генов продуктивности и устойчивости к заболеваниям животных». – 2021. – С. 396-403.

8. **Евлагина, Д.Д.** Биохимические показатели крови овец породы лакон разных генотипов по гену пролактина / Д.Д. Евлагина // Генетика, селекция, биотехнология: интеграция науки и практики в животноводстве: Материалы международной научно-практической конференции, Пушкин, 01–03 декабря 2021 года. – Пушкин: Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных РАСХН, 2021. – С. 53-55.

9. **Евлагина, Д.Д.** Молочная продуктивность овец породы лакон разных генотипов по гену бета-лактоглобулина ( $\beta$ -LG) / Д.Д. Евлагина, М.И. Селионова // В сборнике: Материалы Международной научно-практической конференции «Геномика животных и биотехнологии», Махачкала, 22-23 декабря 2021 г. – Дагестанский аграрный университет им. М.М. Джамбулатова – Ставропольский аграрный университет, 2021. – С. 142-146.

#### **Методические рекомендации**

10. Система комплексной оценки селекционной перспективности племенных стад и их генетического благополучия на основе ДНК-диагностики: Методические рекомендации / Чижова Л.Н., Бобрышова Г.Т., Суржикова Е.С., Ефимова Н.И., Михайленко Т.Н., Селионова М.И., Михайленко А.К., Оздимиров А.А., Луцива Е.Д., **Петухова Д.Д. (Евлагина Д.Д.)**, Саприкина Т.Ю., Суховеева А.В., Чудновец А.И., Евлагин В.Г. – Ставрополь. – 2020. – 97 с.

Подписано в печать «15» апреля 2022 г. Бумага офсетная.  
Формат 60x84 1/16 Гарнитура «Таймс».  
Заказ № 141. Печ. лист 1,0/. Тираж 100 экз.  
Цех оперативной полиграфии ВНИИОК – филиала ФГБНУ  
«Северо-Кавказский ФНАЦ»  
г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 15.