

**ЛЕСНЯК Артем Васильевич**

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДНК-МАРКЕРОВ ПРИ  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ХОЗЯЙСТВЕННО ПОЛЕЗНЫХ ПРИЗНАКОВ  
КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ДЖЕРСЕЙСКОЙ ПОРОДЫ**

4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ).

**Научный  
руководитель:**

**Олейник Сергей Александрович**  
доктор сельскохозяйственных наук

**Официальные  
оппоненты:**

**Гладырь Елена Александровна,**  
кандидат биологических наук,  
федеральное государственное бюджетное научное  
учреждение «Федеральный исследовательский центр  
животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста»

**Федоров Владимир Христофорович,**  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Донской  
государственный аграрный университет»

**Ведущая  
организация:**

федеральное государственное бюджетное научное  
учреждение «Всероссийский научно-исследовательский  
институт племенного дела»

Защита диссертации состоится 06 июля 2026 г. в 12<sup>00</sup> ч на заседании объединенного совета 99.0.123.02 при ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», ФГБОУ ВО Ставропольском ГАУ по адресу: 355017, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, ауд. № 3, тел. 8(8652) 28-61-10, факс: 28-61-10, e-mail: m-ponomareva-st@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ставропольского ГАУ и на сайте: <http://www.stgau.ru>.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ г. и размещен на сайтах ВАК Минобрнауки России <https://vak.gisnauka.ru> 05 мая 2026 г.; Ставропольского ГАУ <http://www.stgau.ru> 05 мая 2026 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Пономарева Мария Евгеньевна

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Молочное скотоводство является стратегически важной отраслью агропромышленного комплекса Российской Федерации, играющей ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности страны качественными и доступными продуктами питания (И.М. Дунин, А.Г. Данкверт, А.В. Кочетков, 2013; М.В. Шуварин и др., 2021). В условиях современных экономических вызовов и необходимости импортозамещения, повышение эффективности молочного производства, рост продуктивности животных и улучшение качественных характеристик молока становятся первостепенными задачами (Д.Н. Русова, 2022). Одним из наиболее перспективных направлений для достижения этих целей является совершенствование генетического потенциала разводимых пород крупного рогатого скота.

Джерсейская порода крупного рогатого скота, известная во всем мире благодаря уникальному качеству молока с высоким содержанием жира и белка, приобретает все большую популярность в России (I. Goncharenko, D. Vynnychuk, 2014). Адаптационные способности и эффективность конверсии корма делают данную породу привлекательной для различных систем содержания. Однако для полной реализации генетического потенциала джерсейской породы в конкретных природно-климатических и хозяйственных условиях Российской Федерации, включая Ставропольский край, необходимы углубленные исследования.

Традиционные методы селекции, основанные на фенотипической оценке, обладают определенными ограничениями, связанными с длительностью процесса и влиянием средовых факторов. Внедрение современных молекулярно-генетических методов, в частности, маркер-ассоциированной селекции (MAS), открывает новые возможности для идентификации животных с желательными генотипами на ранних этапах онтогенеза, что позволяет значительно ускорить темпы генетического прогресса и повысить точность отбора (М.И. Селионова, А.-М.М. Айбазов, 2014).

Среди множества генов, влияющих на хозяйственно-полезные признаки, особое внимание уделяется генам, таким как ген гормона роста (*bGH*) и ген бета-казеина (*CSN2*). Гормон роста играет центральную роль в регуляции роста, развития и лактации, и его полиморфизмы могут быть связаны с удоем, составом молока и ростовыми характеристиками крупного рогатого скота молочного направления (И.В. Лазебная, О.Е. Лазебный, М.Н. Рузина, 2011; А.В. Перчун и др., 2012; И.В. Лазебная и др., 2012). Ген бета-казеина, в свою очередь, определяет синтез одного из основных белков молока, а его аллельные варианты (особенно A1 и A2) влияют не только на технологические свойства молока, но и, как предполагается, на его усвояемость и потребительские качества, что актуально в свете растущего спроса на A2-молоко (Е.А. Кулешова, Е.А. Москаленко, Н.В. Быченко, 2023; М.Н. Панков и др., 2024).

Наряду с изучением генов-кандидатов, оценка общего генетического разнообразия и структуры популяции имеет фундаментальное значение для разработки долгосрочных селекционных программ и сохранения генофонда породы

(ФАО, 2010). Использование высокополиморфных микросателлитных (STR) маркеров позволяет охарактеризовать уровень генетической изменчивости. (А.А. Egiro, 2007). Для джерсейской породы, имеющей специфическую историю формирования, такая оценка особенно важна для понимания генетической уникальности исследуемой популяции и потенциального выявления связей STR-локусов с хозяйственно-полезными признаками, дополняя информацию, полученную от анализа генов-кандидатов (О. Opoola и др., 2023; К. Srikanth и др., 2023).

Недостаточно изучена роль генов *bGH* и *CSN2* в формировании продуктивности джерсейского скота, разводимого на территории России, хотя для других пород эти гены изучены достаточно подробно. Комплексная оценка взаимосвязи указанных маркеров с хозяйственно полезными признаками (удой, рост, экстерьер, фертильность) и анализ генетического разнообразия популяции позволят выделить наиболее ценных животных. Полученные результаты могут послужить базой для научно обоснованной корректировки программ разведения.

Таким образом, изучение ассоциаций полиморфизма генов гормона роста и бета-казеина с комплексом хозяйственно полезных признаков у коров джерсейской породы, дополненное анализом генетического разнообразия по STR-маркерам, является актуальным научным направлением, имеющим важное теоретическое и практическое значение для повышения эффективности отечественного молочного скотоводства.

**Степень разработанности темы.** Значительный объем научных работ посвящен изучению молочных пород, методам оценки их качеств и разработке современных технологий в племенной работе (Х.А. Амерханов, Н.И. Стрекозов, 2012; А.В. Мартынов, Т.В. Павлова, Н.В. Казаровец, 2012; В.И. Трухачев и др., 2022). История формирования и хозяйственно-биологические особенности джерсейской породы достаточно подробно освещены в научной литературе (R.J. Collier и др., 1981; А.Г. Данкверт, 2004; L. Chikhi и др., 2004; Е.Р. Блюм, О.М. Мухтарова, 2022). Исследованы продуктивные качества и адаптационные способности (В.А. Перепелкина, 2015; R.C. Handcock и др., 2019; З.С. Санова, 2022).

Роль полиморфизма гена гормона роста (*bGH*) активно изучается в контексте влияния на молочную продуктивность и рост (С.Р. Хатами и др., 2005; И.В. Лазебная и др., 2011; В.М. Габидулин и др., 2019). Аналогично, ген бета-казеина (*CSN2*), особенно его варианты А1 и А2, стал объектом пристального внимания (Л.А. Калашникова и др., 2021; А.Г. Коцаев, Е.А. Гырнец, 2021; L. Ben Farhat и др., 2023; М.Н. Панков и др., 2024). Использование STR-маркеров для оценки генетического разнообразия описано в работах О.А. Елишко и др. (2014), О. Opoola и др. (2023), К. Srikanth и др. (2023). Однако ощущается дефицит системных исследований комплексного влияния данных маркеров на весь спектр хозяйственно полезных признаков (рост, экстерьер, репродукция, удой и состав молока) у джерсейской породы в условиях юга России, что обуславливает необходимость проведения настоящей работы.

**Цель и задачи исследования.** Цель исследования – научно обосновать эффективность использования комплекса ДНК-маркеров при оценке и совершенствовании хозяйственно-полезных признаков крупного рогатого скота джерсейской породы.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Определить аллельный состав и частоты генотипов по генам гормона роста (*bGH*) и бета-казеина (*CASB*) у коров джерсейской породы;
2. Проанализировать наличие ассоциации полиморфизмов p.Leu127Val (rs41923484) в гене гормона роста (*bGH*) и полиморфизма p.Pro67His (rs43703011) в гене *CASB* с динамикой живой массы и экстерьерными показателями молодняка джерсейской породы;
3. Определить ассоциации полиморфизма генов *bGH* и *CASB* с показателями репродуктивной функции коров джерсейской породы;
4. Установить взаимосвязь полиморфизма генов *bGH* и *CASB* с удоем, качественным составом молока и выходом молочных компонентов у коров джерсейской породы;
5. Определить параметры генетического разнообразия исследуемой популяции джерсейской породы по панели STR-маркеров и идентифицировать локусы, ассоциированные с ключевыми хозяйственно-полезными признаками;
6. Изучить биохимические параметры крови коров с учетом исследуемых полиморфизмов в генах *bGH* и *CASB*;
7. Оценить экономическую эффективность использования результатов исследования в селекционной работе.

**Объект и предмет исследования.**

**Объект исследования:** популяция крупного рогатого скота джерсейской породы, разводимая в условиях Ставропольского края, на базе племенного репродуктора ООО «Агроальянс Инвест».

**Предмет исследования:** генетическая структура популяции по генам гормона роста (*bGH*), бета-казеина (*CASB*) и микросателлитным (STR) локусам, а также ассоциация выявленных полиморфизмов с показателями молочной продуктивности, экстерьером, динамикой роста, репродуктивными качествами животных.

**Научная новизна исследований.** Впервые проведена комплексная молекулярно-генетическая оценка популяции джерсейского скота в природно-климатических условиях юга России. Осуществлен системный анализ полиморфизма генов *bGH* и *CASB*, в ходе которого выявлены достоверные ассоциации их аллельных вариантов с широким спектром хозяйственно полезных признаков: показателями молочной продуктивности и качеством молока, интенсивностью роста молодняка, особенностями экстерьера и воспроизводительными способностями. Расширены представления о генетической детерминации фенотипических признаков, доказана степень влияния специфических аллельных комбинаций на реализацию продуктивного потенциала и идентифицированы целевые ДНК-маркеры, предпочтительные для селекции. Проведен микросателлитный анализ (по STR-локусам), позволивший

охарактеризовать аллелофонд и генетическую структуру стада, а также выявить маркеры, сопряженные с продуктивностью. Доказана экономическая эффективность и целесообразность интеграции ДНК-тестирования по генам *bGH* и *CASB* в селекционные программы для совершенствования племенных качеств коров джерсейской породы.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Работа имеет важную теоретическую значимость, поскольку расширяет фундаментальные представления о необходимости генетического контроля хозяйственно полезных признаков у крупного рогатого скота джерсейской породы, уточняя роль генов гормона роста и бета-казеина в детерминации молочной продуктивности, роста, экстерьера и репродукции. Исследование дополняет знания о генетической структуре популяции джерсейского скота, разводимого в условиях юга России, выявляя множественное (плейотропное) действие исследуемых генов через их ассоциации с различными хозяйственно полезными признаками.

Практическая значимость исследования заключается в выявлении ДНК-маркеров, ассоциированных с высокой молочной продуктивностью и другими желательными признаками коров джерсейской породы. Наличие информации об ассоциации генотипа (A1/A2) гена бета-казеина с селекционно-значимыми признаками крупного рогатого скота, предоставит возможность выявлять носителей генетических маркеров с качественными характеристиками молочной продуктивности, что позволит проводить отбор животных с высоким генетическим потенциалом продуктивности для формирования стад, широкое использование которых значительно ускорит селекционный процесс. В свою очередь, использование полиморфизма гена гормона роста (*bGH*) имеет высокую практическую ценность для оптимизации количественных показателей продуктивности и выращивания молодняка. Идентификация животных с желательным генотипом обеспечит комплектование стад с максимальным уровнем удоя и выходом молочных компонентов. Экономическая оценка подтверждает целесообразность применения разработанных подходов на основе ДНК-технологий для повышения рентабельности разведения джерсейского скота.

**Методология и методы исследования.** Теоретико-методологическую основу диссертации составили фундаментальные и прикладные труды ведущих российских и иностранных ученых в области разведения животных, зоотехнии и молекулярной генетики. В ходе выполнения работы применялся комплексный подход, сочетающий общенаучные приемы познания (постановка научно-хозяйственного опыта, сравнительный анализ, систематизация и обобщение полученных результатов) со специальными методиками. К числу последних относятся методы зоотехнического учета продуктивности, биохимический скрининг показателей крови и современные молекулярно-генетические технологии (ПЦР-диагностика, анализ STR-локусов). Достоверность полученных результатов подтверждена методами вариационной статистики с использованием компьютерных программ.

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

- гены *bGH* и *CASB*, контролирующие хозяйственно-полезные признаки продуктивности у крупного рогатого скота джерсейской породы, полиморфны;
- полиморфизм *p.Leu127Val* (rs41923484) в гене гормона роста (*bGH*) ассоциативен с динамикой живой массы и экстерьерными показателями коров джерсейской породы.
- связь полиморфизма в гене *bGH* с показателями репродуктивной функции коров джерсейской породы установлена.
- полиморфизм *p.Leu127Val* (rs41923484) в гене гормона роста (*bGH*) и *p.Pro67His* (rs43703011) в гене бета-казеина *CASB* ассоциативны с количественными и качественными параметрами молочной продуктивности коров джерсейской породы;
- исследуемая популяция джерсейской породы обладает высоким уровнем генетического разнообразия. STR-локусы, ассоциированные с ключевыми хозяйственно-полезными признаками, идентифицированы;
- применение генотипирования коров джерсейской породы по генам *bGH* и *CASB* экономически эффективно.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Обоснованность научных положений и выводов диссертации базируется на применении комплекса современных молекулярно-генетических подходов и методов биометрического анализа. Экспериментальная часть работы выполнена на базе племенного репродуктора ООО «Агроальянс Инвест». Исследовательская часть работы выполнена на базе аккредитованных лабораторий ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» (Лаборатория селекционного контроля качества молока и Лаборатория молекулярно-генетической экспертизы) оснащенных высокоточным аналитическим оборудованием. Разработанные предложения внедрены в технологический процесс племенного репродуктора ООО «Агроальянс Инвест» (Александровский район, Ставропольский край), что зафиксировано соответствующим актом внедрения, а также используются в научно-исследовательской работе и в учебном процессе ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет» в качестве дополнительного материала для самостоятельной работы студентов.

Работа выполнялась в рамках НИОКТР «Разработка генетико-технологической модели стада крупного рогатого скота разных пород для оптимизации производства молока на Юге России и продления периода хозяйственного использования коров при высоком и среднем уровнях продуктивности животных (II этап)» государственного задания МСХ РФ №082-03-2023-217/1 от 06.03.2023 г.; в рамках НИОТКР «Разработка генетико-технологической модели стада крупного рогатого скота разных пород для оптимизации производства молока на Юге России и продления периода хозяйственного использования коров при высоком и среднем уровнях продуктивности животных. III этап – изучение фертильности ремонтного молодняка с учетом генов продуктивного действия» государственного задания МСХ РФ №082-03-2024-2120/3 от 25.04.2024 г.

Полученные результаты изложены на следующих научных конференциях:

- 88-я научно-практическая конференция «Аграрная наука – Северо-Кавказскому федеральному округу» (01 июня 2023 г., г. Ставрополь);
- Международная научно-практическая конференция, посвященная 95-летию Национальной академии наук Беларуси «Проблемы биотехнологии, селекции, кормления и кормопроизводства современного животноводства» (19 октября 2023 г., г. Жодино);
- V международная научно-практическая конференция «Передовые достижения науки в молочной отрасли» (26 октября 2023 г., Вологда-Молочное);
- 89-я научно-практическая конференция «Аграрная наука – Северо-Кавказскому федеральному округу» (06 июня 2024 г., г. Ставрополь).

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, из них 3 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 2 статьи в российских журналах, входящих в RSCI, 2 статьи в изданиях, индексируемых в международной базе цитирования Scopus, 4 статьи, входящих в сборники научных конференций.

**Объем и структура диссертации.** Материалы диссертации изложены на 130 страницах машинописного текста. Работа иллюстрирована 35 таблицами и 7 рисунками. Структура рукописи включает введение, обзор литературы, методическую часть, главу собственных исследований, заключение, предложения производству и перспективы развития темы. Список литературы состоит из 260 источников, включая 97 зарубежных авторов. Работа содержит список сокращений.

**Личный вклад соискателя.** Участие автора состоит в постановке научной проблемы, определении задач и выборе методов их решения. Экспериментальная часть работы, включая формирование выборок животных, мониторинг показателей роста и продуктивности, а также анализ генетической структуры стада, выполнена автором лично. Соискатель самостоятельно провел биометрическую обработку данных, интерпретировал полученные результаты и подготовил их к публикации. Диссертация представляет собой самостоятельное завершённое научное исследование, обладающее научной новизной и практической значимостью для молочного скотоводства.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

### **1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

В обзоре литературы рассматриваются состояние и перспективы использования молочных пород крупного рогатого скота в России, подробно изложена история формирования и современное состояние джерсейской породы. Дана информация о традиционных и современных подходах к оценке признаков продуктивности животных молочного направления. В разделе систематизированы и обобщены материалы научных трудов отечественных и зарубежных ученых, посвященные применению молекулярно-генетических методов в животноводстве, а также использованию генетических маркеров и их роли в селекции крупного рогатого скота.

## 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Материал и методика исследований.** Экспериментальная часть работы выполнялась в 2022–2025 гг. на базе племенного репродуктора джерсейской породы ООО «Агроальянс Инвест» (Ставропольский край). Объектом исследования являлся крупный рогатый скот джерсейской породы, представленный независимыми выборками: для ассоциативных исследований полиморфизма генов *bGH* и *CASB* сформирована группа ремонтных телок ( $n=361$ ); для популяционно-генетического анализа использована выборка из 2382 голов, из которых для оценки роста отобрано 1517 голов, для оценки молочной продуктивности 885 коров-первотелок. Для изучения метаболического статуса сформирована подгруппа из 76 животных в сравнении с контрольной выборкой стада ( $n=350$ ). Все животные содержались в оптимальных условиях, отвечающих зоотехническим нормам. Общие направления исследований представлены на рисунке 1.

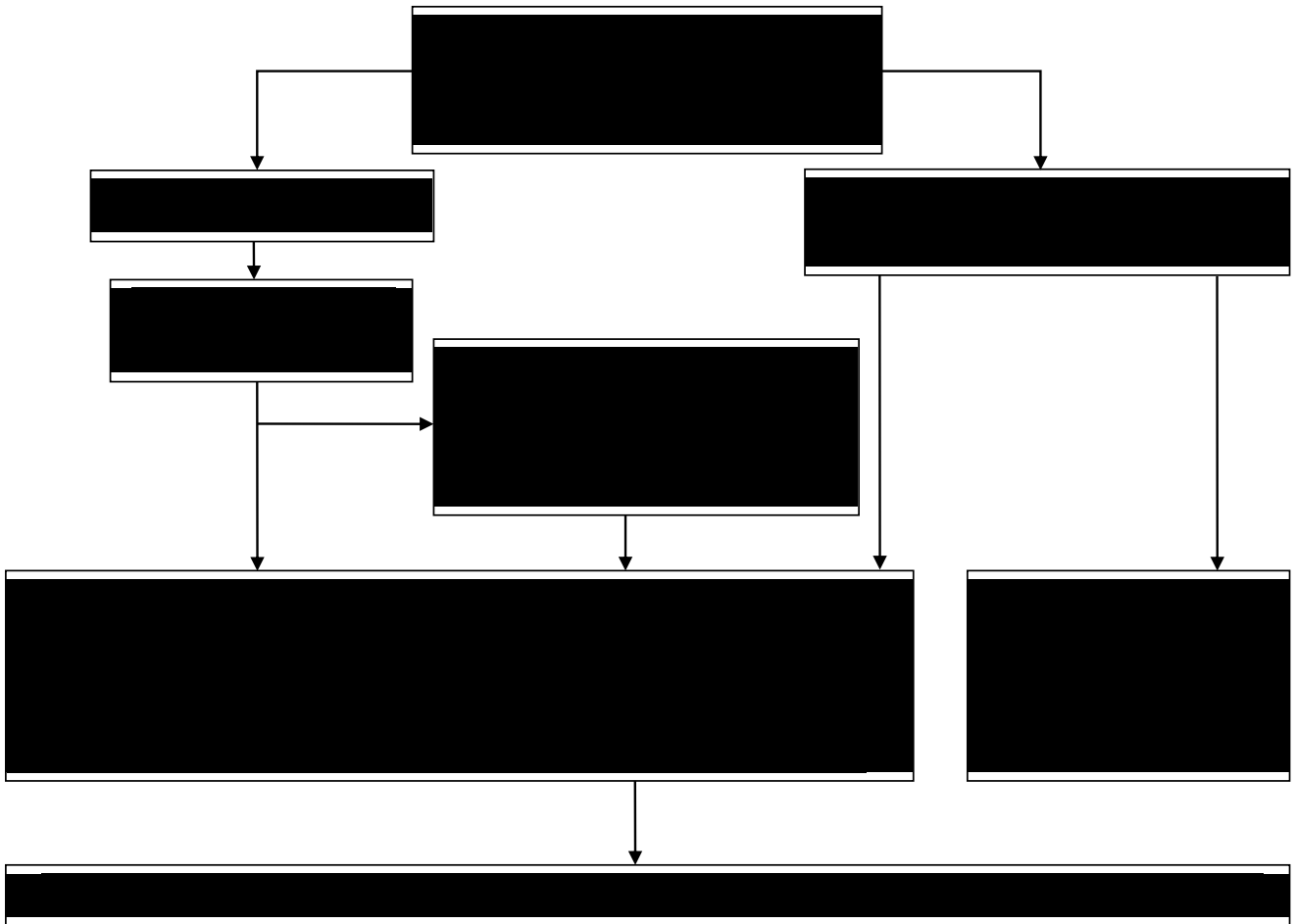


Рисунок 1 – Общая схема исследования

**Методики генотипирования и биохимических исследований.** Молекулярно-генетические исследования выполнялись в Лаборатории молекулярно-генетической экспертизы ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ (Свидетельство о регистрации в государственном племенном регистре, серия ПЖ 77; № 010649). Биологическим материалом служили образцы венозной крови.

Выделение ДНК проводили с использованием набора «М-Сорб-Кровь» (ООО «НПФ Синтол», Россия) на станции автоматического выделения и очистки нуклеиновых кислот Auto-Pure 96 (AllSneng, Китай).

Генотипирование по генам гормона роста (*bGH*, p.Leu127Val) и бета-казеина (*CASB*, p.Pro67His) проводили методом полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ) на амплификаторе «Rotor-Gene Q» (QIAGEN, Германия). Для исследований использовали коммерческие наборы реагентов производства ООО «НПФ Синтол» (Россия): «Набор реагентов для определения полиморфизма Leu127Val (C/G) гена *bGH* крупного рогатого скота» и «Набор реагентов для определения полиморфизма Pro67His гена бета-казеина *CASB* у крупного рогатого скота (определение типа молока A1/A2)». В настоящей работе для обозначения гена бета-казеина используется аббревиатура *CASB*, соответствующая номенклатуре производителя используемых тест-систем. Анализ по 16 STR-локусам выполняли с использованием набора «Gene Profile Cattle» (ООО «НПФ Синтол», Россия) методом фрагментного анализа продуктов ПЦР на генетическом анализаторе «Нанофор 05» (ООО «НПФ Синтол», Россия). Идентификацию аллелей проводили с помощью программного обеспечения «GeneMarker» (SoftGenetics, LLC, США).

Биохимические исследования проводились в Управлении ветеринарии Ставропольского края ГБУ Ставропольского края «Ставропольская краевая ветеринарная лаборатория» (белок общий, кальций, каротин, фосфор) (методические указания по применению унифицированных биохимических методов исследований крови, мочи и молока в ветеринарных лабораториях. Утверждено ГУВ МСХ СССР от 29.06.1981 г.), глюкоза (методика по применению набора «Глюкоза ФКД»), кетоновые тела («Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики». Справочник под редакцией И.П. Кондрахина, Москва, «КолосС», 2004) с использованием приборов: рефрактометр ИРФ-454 Б.2М (ОАО «КОМЗ», Россия), спектрофотометр ПЭ-5400УФ (ООО «Экротех», Россия).

### **Методы исследования продуктивных показателей.**

Динамику живой массы устанавливали по результатам индивидуального взвешивания в следующие возрастные периоды: при рождении, в 6, 10 и 12 месяцев с расчетом абсолютного и среднесуточного приростов. Экстерьерные особенности оценивали на 2-3 месяце лактации путем взятия 13 линейных промеров и вычисления 7 индексов телосложения с последующим распределением животных на лептосомный, мезосомный и эйрисомный типы телосложения (по методу Гаусса, ГОСТ Р ИСО 3534-1-2019 "Статистические методы. Словарь и условные обозначения. Часть 1. Общие статистические термины и термины, используемые в теории вероятностей").

Репродуктивную функцию животных оценивали по возрасту и живой массе при первом плодотворном осеменении, а также индексу осеменения.

Молочную продуктивность коров (удой за 305 дней лактации, массовая доля жира и белка) определяли путем проведения контрольных доений, анализ качества молока проводили с использованием метода инфракрасной спектроскопии на

анализаторе CombiFoss 7 DC (FOSS, Дания) в Лаборатории селекционного контроля качества молока ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ (Свидетельство о регистрации в государственном племенном регистре, серия ПЖ 77 №011667; уникальный номер аккредитации в реестре аккредитованных лиц №РОСС RU.0001.21 ПЦ12 согласно ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019 по определению показателей качества и безопасности пищевой продукции, продовольственного сырья, контролю качества молочного сырья).

Экономическую эффективность от внедрения результатов исследований рассчитывали на основе сопоставления доходов от реализации молока и производственных затрат с учетом генотипической принадлежности.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программных комплексов STATISTICA 10 и Microsoft Excel. Достоверность различий определяли методом критерия Стьюдента и однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с апостериорным критерием Тьюки (Tukey's HSD) при уровнях значимости  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$ ,  $p < 0,001$ .

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

#### 3.1. Оценка генетического разнообразия и структуры популяции по генам *bGH* и *CASB*

Для оценки генетической структуры исследуемой популяции коров джерсейской породы ( $n = 361$ ) был проведен анализ полиморфизма р.Leu127Val (rs41923484) гена гормона роста (*bGH*) и полиморфизма р.Pro67His (rs43703011) гена бета-казеина (*CASB*), ассоциированных с хозяйственно-полезными признаками. В соответствии с выявленными однонуклеотидными заменами, в гене *bGH* принято следующее буквенное обозначение аллелей: аллель С (генотип С/С), аллель G (генотип G/G). В гене *CASB* принято следующее буквенное обозначение аллелей: аллель С (генотип С/С), аллель А (генотип А/А).

В результате проведенных молекулярно-генетических исследований установлено, что в популяции по гену *bGH* преобладает аллель G (0,59), а по гену *CASB* аллель С (0,61).

Следующий этап исследований включал анализ распределения частот генотипов среди животных исследуемой популяции (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели генетической структуры популяции коров джерсейской породы по генам *bGH* и *CASB* ( $n=361$ )

Показатель	Ген <i>bGH</i>	Ген <i>CASB</i>
Наблюдаемая гетерозиготность ( $H_o$ )	0,42	0,76
Ожидаемая гетерозиготность ( $H_e$ )	0,48	0,47
Индекс фиксации (Fis)	+0,11	-0,61
Степень гомозиготности ( $C_a$ ), %	51,62	52,42
Уровень полиморфности ( $N_a$ )	1,94	1,91
Информационный полиморфизм (PIC)	0,484	0,476
Критерий хи-квадрат ( $\chi^2$ )	4,79*	137,77***

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

Выявленная закономерность выразилась в дефиците гетерозигот по гену *bGH* ( $\chi^2 = 4,79$ ;  $p < 0,05$ ), где частота генотипов составила: C/C 19,9 %, C/G 42,9 %, G/G 37,2 %. Напротив, в исследуемом полиморфизме гена *CASB* наиболее часто встречался гетерозиготный генотип C/A (77,0 %), что свидетельствует о значительном избытке гетерозигот ( $\chi^2 = 137,77$ ;  $p < 0,001$ ).

### 3.2. Ассоциация полиморфизма в генах *bGH* и *CASB* с показателями роста и развития молодняка

#### 3.2.1. Динамика живой массы и приростов ремонтных телок в зависимости от генотипа

В результате проведения исследований проанализирована взаимосвязь полиморфных вариантов с интенсивностью роста молодняка. Выявленная закономерность преимущества изученных генотипов проявилась по величине среднесуточного и абсолютного приростов в период 6–10 месяцев. Наибольшей энергией роста обладали животные с генотипом *bGH*<sup>G/G</sup>, превосходящие гетерозиготных особей по абсолютному приросту на 2,79 кг, по среднесуточному – на 23,26 г ( $p < 0,05$ ) (таблица 2).

Таблица 2 – Среднесуточный прирост молодняка в зависимости от генотипа гена *bGH* (M±m, г)

Генотип	n	Среднесуточный прирост по возрастным периодам		
		0-6 месяцев	6-10 месяцев	10-12 месяцев
C/C	72	768,82 ± 8,32	781,48 ± 13,64	712,96 ± 21,36
C/G	155	773,54 ± 5,27	768,22 ± 7,84	729,03 ± 14,88
G/G	134	780,38 ± 5,16	791,48 ± 8,30* <sup>1</sup>	721,14 ± 16,80

Примечание: \*  $p < 0,05$ ; <sup>1</sup> G/G в сравнении с C/G.

Таблица 3 – Абсолютный прирост живой массы молодняка в зависимости от генотипа гена *bGH* (M±m, кг)

Генотип	n	Абсолютный прирост по возрастным периодам		
		0-6 месяцев	6-10 месяцев	10-12 месяцев
C/C	72	138,39 ± 1,50	93,78 ± 1,64	42,78 ± 1,28
C/G	155	139,24 ± 0,95	92,19 ± 0,94	43,74 ± 0,89
G/G	134	140,47 ± 0,93	94,98 ± 1,00* <sup>1</sup>	43,27 ± 1,01

Примечание: \*  $p < 0,05$ ; <sup>1</sup> G/G в сравнении с C/G.

Аналогичное преимущество в данный возрастной период выявлено у носительниц гомозиготного генотипа *CASB*<sup>C/C</sup>, превосходивших аналогов (C/A) на 2,97 кг и 24,66 г соответственно ( $p < 0,05$ ). Поскольку ген *CASB* связан с молочной продуктивностью, выявленная ассоциация с ростом носит косвенный характер и, вероятнее всего, обусловлена его генетическим сцеплением с локусами количественных признаков (QTL), регулирующими развитие молодняка.

Анализ комплексных генотипов позволил установить, что их влияние носит выраженный период-зависимый характер. Выявлено, что комплексный генотип

$bGH^{C/C}CASB^{C/C}$  обеспечивает максимальный стартовый рост (абсолютный прирост от рождения до 6 месяцев составил 147,8 кг), в то время как генотип  $bGH^{G/G}CASB^{C/C}$  обуславливает высокую интенсивность развития в период полового созревания (прирост за 6–10 месяцев достиг 97,48 кг,  $p < 0,05$ ). К 12-месячному возрасту статистически значимые различия в живой массе между группами нивелировались, что свидетельствует о выравнивании темпов роста по мере приближения к физиологической зрелости (таблица 4).

Таблица 4 – Ассоциация комплексных генотипов генов  $bGH$  и  $CASB$  с абсолютным приростом молодняка джерсейской породы ( $M \pm m$ , кг)

Комплексный генотип		n	Абсолютный прирост по возрастным периодам		
$bGH$	$CASB$		0-6	6-10	10-12
C/C	C/A	62	136,87 ± 1,55	93,55 ± 1,88	43,48 ± 1,36
C/C	C/C	10	147,80 ± 3,80* <sup>2</sup>	95,20 ± 1,87	38,40 ± 3,64
C/G	C/A	122	140,14 ± 1,13	91,71 ± 1,11	44,29 ± 1,01
C/G	C/C	31	135,61 ± 1,51	93,90 ± 1,70	41,71 ± 2,03
G/G	C/A	94	140,55 ± 1,03	93,91 ± 1,24	43,27 ± 1,16
G/G	C/C	40	140,30 ± 1,99	97,48 ± 1,58* <sup>3</sup>	43,28 ± 2,01
C/G	A/A <sup>1</sup>	2	140,50 ± 3,50	94,50 ± 5,50	42,00 ± 6,00

Примечание: \*  $p < 0,05$ ; <sup>1</sup> группа исключена из статистического анализа из-за недостаточного размера выборки и представлена справочно; <sup>2</sup>  $bGH^{C/C}CASB^{C/C}$  в сравнении с  $bGH^{C/C}CASB^{C/A}$  и  $bGH^{C/G}CASB^{C/C}$ ; <sup>3</sup>  $bGH^{G/G}CASB^{C/C}$  в сравнении с  $bGH^{C/G}CASB^{C/A}$ .

### 3.2.2. Ассоциация генотипов генов $bGH$ и $CASB$ с экстерьерными показателями и типами телосложения коров-первотелок

Для характеристики параметров телосложения проводили измерение отдельных статей тела. Установлены различия по высотным промерам, где преимущество было у животных-носителей аллеля G гена  $bGH$  по сравнению с аналогами C/G по высоте в холке (на 0,92 см) и глубине груди (на 0,87 см) ( $p < 0,05$ ).

Рассматривая сочетания комплексных генотипов в разрезе типов телосложения, выявлено, что у животных с генотипом  $bGH^{G/G}CASB^{C/C}$  наблюдалась меньшая доля мезосомного типа телосложения (8,8 %) при увеличении доли животных с лептосомным (21,0 %) и эйрисомным (16,3 %) типами (таблица 5).

Таблица 5 – Распределение частот комплексных генотипов генов  $bGH$  и  $CASB$  по типам телосложения

Генотип	Лептосомный (n = 38)		Мезосомный (n = 273)		Эйрисомный (n = 49)	
	Кол-во, гол.	%	Кол-во, гол.	%	Кол-во, гол.	%
$bGH^{C/C}CASB^{C/A}$	8	21	46	16,9	8	16,3
$bGH^{C/C}CASB^{C/C}$	0	0	8	2,9	2	4,1
$bGH^{C/G}CASB^{C/A}$	13	34,2	93	34,1	16	32,6
$bGH^{C/G}CASB^{C/C}$	2	5,3	25	9,1	4	8,2
$bGH^{C/G}CASB^{A/A}$	0	0	2	0,7	0	0
$bGH^{G/G}CASB^{C/A}$	7	18,5	75	27,5	11	22,5
$bGH^{G/G}CASB^{C/C}$	8	21	24	8,8	8	16,3

### 3.3. Ассоциация полиморфизма в генах *bGH* и *CASB* с репродуктивной функцией телок

Рассматривая показатели репродуктивной функции исследуемого поголовья, выявлено, что особи с генотипом *bGH<sup>G/G</sup>* характеризовались снижением репродуктивной эффективности. У данных животных отмечен более высокий индекс осеменения (1,82) в сравнении с особями, имеющими генотипы *C/C* (1,59) и *C/G* (1,55) ( $p < 0,05$ ). Достоверных различий по изучаемому параметру в зависимости от генотипов гена *CASB* не обнаружено.

### 3.4. Ассоциация полиморфизма генов *bGH*, *CASB* и их комбинаций на количественные и качественные показатели молочной продуктивности

При рассмотрении показателей молочной продуктивности с учетом полиморфности генов установлено, что особи с генотипом *bGH<sup>C/C</sup>* превосходили животных других групп по валовому удою на 258–393 кг ( $p < 0,05$ ), выходу белка на 15,3 кг (на 5,8%) больше, чем у группы *G/G* ( $p < 0,05$ ) и выходу жира на 15,0 кг (на 4,2%) больше, чем у сверстниц той же группы *G/G* ( $p < 0,05$ ). Животные с генотипами *C/G* и *G/G* достоверно ( $p < 0,05$ ) превосходили коров с генотипом *C/C* по содержанию общего сухого обезжиренного остатка (СОМО общ.) на 0,24% и 0,28% соответственно. Содержание казеина у носителей аллеля *G* (генотипы *C/G* и *G/G*) значение было на 0,05-0,06% выше, соответственно (таблица 6).

Таблица 6 – Показатели молочной продуктивности и состава молока в зависимости от генотипа гена *bGH* ( $M \pm m$ )

Показатель	Генотипы		
	<i>C/C</i> (n=72)	<i>C/G</i> (n=155)	<i>G/G</i> (n=134)
Удой, кг	6907,84 ± 93,94* <sup>1</sup>	6649,29 ± 63,63	6514,81 ± 60,99
Жир, %	5,45 ± 0,05	5,54 ± 0,04	5,54 ± 0,04
Белок, %	4,09 ± 0,02	4,13 ± 0,01	4,10 ± 0,01
Выход жира, кг	374,97 ± 4,53* <sup>2</sup>	366,34 ± 3,31	359,94 ± 3,57
Выход белка, кг	282,05 ± 3,37* <sup>2</sup>	274,10 ± 2,40	266,71 ± 2,38
Лактоза, %	4,87 ± 0,01	4,85 ± 0,007	4,86 ± 0,008
СОМО обжж., %	9,91 ± 0,03	9,97 ± 0,01	9,97 ± 0,02
СОМО общ., %	15,14 ± 0,09	15,38 ± 0,05* <sup>3</sup>	15,42 ± 0,06* <sup>3</sup>
Казеин, %	3,35 ± 0,02	3,40 ± 0,01* <sup>3</sup>	3,40 ± 0,01* <sup>3</sup>

Примечание: \*  $p < 0,05$ ; <sup>1</sup> *C/C* в сравнении с *C/G* и *G/G*; <sup>2</sup> *C/C* в сравнении с *G/G*; <sup>3</sup> *G/G* и *C/G* в сравнении с *C/C*.

По гену бета-казеина коровы с генотипом *C/A* показали высокий выход белка, который составил 274,46 кг, что на 7,0 кг (или 2,6%) больше, чем у животных с генотипом *C/C* ( $p < 0,05$ ). При изучении детального состава молока была выявлена обратная зависимость, где животные с генотипом *C/C*, уступая по выходу белка, показали более высокие значения по качественным и технологическим показателям. Так, коровы с генотипом *C/C* превосходили группу *C/A* по содержанию сухого обезжиренного остатка (СОМО обжж.) на 0,07% и общего СОМО (СОМО общ.) на 0,20% ( $p < 0,05$ ). Аналогичная ситуация наблюдалась и для содержания казеина, где у животных-носителей генотипа *C/C* его концентрация

была на 0,05% выше, чем у коров генотипа С/А. Содержание лактозы между группами значимо не различалось. (таблица 7).

Таблица 7 – Показатели молочной продуктивности и состава молока в зависимости от генотипа гена *CASB* (M±m)

Показатель	Генотипы		
	С/А (n=278)	С/С (n=81)	А/А <sup>1</sup> (n=2)
Удой, кг	6674,52 ± 47,10	6568,28 ± 81,93	6720,50 ± 312,5
Жир, %	5,49 ± 0,03	5,61 ± 0,06	6,07 ± 0,67
Белок, %	4,12 ± 0,01	4,08 ± 0,02	4,22 ± 0,01
Выход жира, кг	365,03 ± 2,44	366,95 ± 4,64	406,16 ± 26,37
Выход белка, кг	274,46 ± 1,81* <sup>2</sup>	267,49 ± 2,85	283,89 ± 12,19
Лактоза, %	4,86 ± 0,006	4,86 ± 0,01	4,78 ± 0,14
СОМО обж., %	9,94 ± 0,01	10,01 ± 0,03* <sup>3</sup>	10,09 ± 0,15
СОМО общ., %	15,30 ± 0,04	15,50 ± 0,07* <sup>3</sup>	15,93 ± 0,57
Казеин, %	3,38 ± 0,01	3,43 ± 0,02* <sup>3</sup>	3,55 ± 0,005

Примечание: \* p < 0,05; <sup>1</sup> группа А/А (n=2) исключена из статистического анализа и представлена справочно; <sup>2</sup> С/А в сравнении с С/С; <sup>3</sup> С/С в сравнении с С/А.

Анализ ассоциаций комплексных генотипов генов гормона роста (*bGH*) и бета-казеина (*CASB*) на молочную продуктивность позволил выявить их различное взаимодействие, определяющее как количественные, так и качественные параметры молока (таблица 8).

Таблица 8 – Показатели молочной продуктивности коров в зависимости от комплексных генотипов генов *bGH* и *CASB* (M ± m)

Генотип	n	Показатели продуктивности				
		Удой, кг	Жир, %	Белок, %	Выход жира, кг	Выход белка, кг
<i>bGH</i> <sup>C/G</sup> <i>CASB</i> <sup>C/A</sup>	122	6673,30 ±74,89	5,48 ±0,04	4,12 ±0,01	363,95 ±3,72	274,89 ±2,85
<i>bGH</i> <sup>C/G</sup> <i>CASB</i> <sup>C/C</sup>	31	6550,22 ±119,39	5,72 ±0,10* <sup>2</sup>	4,13 ±0,03* <sup>3</sup>	373,14 ±7,41	270,38 ±4,19
<i>bGH</i> <sup>C/C</sup> <i>CASB</i> <sup>C/A</sup>	62	6920,29 ±98,28* <sup>1</sup>	5,42 ±0,06	4,10 ±0,02	373,25 ±4,78* <sup>4</sup>	283,28 ±3,56* <sup>5</sup>
<i>bGH</i> <sup>C/C</sup> <i>CASB</i> <sup>C/C</sup>	10	6830,70 ±307,55	5,68 ±0,14	4,03 ±0,04	385,67 ±13,84	274,44 ±10,24
<i>bGH</i> <sup>G/G</sup> <i>CASB</i> <sup>C/A</sup>	94	6514,0,1 ±72,05	5,55 ±0,05	4,11 ±0,01	361,01 ±4,33	268,08 ±2,93
<i>bGH</i> <sup>G/G</sup> <i>CASB</i> <sup>C/C</sup>	40	6516,67 ±115,83	5,50 ±0,08	4,05 ±0,03	357,47 ±6,34	263,51 ±4,04

Примечание: группа *bGH*<sup>C/G</sup>*CASB*<sup>A/A</sup> (n=2) исключена из статистического анализа;  
<sup>1</sup> *bGH*<sup>C/C</sup>*CASB*<sup>C/A</sup> в сравнении с *bGH*<sup>G/G</sup>*CASB*<sup>C/A</sup>, *bGH*<sup>G/G</sup>*CASB*<sup>C/C</sup>, *bGH*<sup>C/G</sup>*CASB*<sup>C/C</sup>,  
*bGH*<sup>C/G</sup>*CASB*<sup>C/A</sup>;  
<sup>2</sup> *bGH*<sup>C/G</sup>*CASB*<sup>C/C</sup> в сравнении с *bGH*<sup>C/C</sup>*CASB*<sup>C/A</sup>, *bGH*<sup>C/G</sup>*CASB*<sup>C/A</sup>;  
<sup>3</sup> *bGH*<sup>C/G</sup>*CASB*<sup>C/C</sup> в сравнении с *bGH*<sup>G/G</sup>*CASB*<sup>C/C</sup>, *bGH*<sup>C/C</sup>*CASB*<sup>C/C</sup>;  
<sup>4</sup> *bGH*<sup>C/C</sup>*CASB*<sup>C/A</sup> в сравнении с *bGH*<sup>G/G</sup>*CASB*<sup>C/C</sup>;  
<sup>5</sup> *bGH*<sup>C/C</sup>*CASB*<sup>C/A</sup> в сравнении с *bGH*<sup>G/G</sup>*CASB*<sup>C/C</sup>, *bGH*<sup>G/G</sup>*CASB*<sup>C/A</sup>, *bGH*<sup>C/G</sup>*CASB*<sup>C/C</sup>.

Данные таблицы свидетельствуют о разнонаправленном синергетическом эффекте исследуемых аллельных комбинаций. Наибольшим потенциалом по валовому удою (6920,29 кг) и выходу молочного белка (283,28 кг) обладали коровы с комплексным генотипом  $bGH^{C/C}CASB^{C/A}$ , достоверно превосходя сверстниц наименее продуктивной группы  $bGH^{G/G}CASB^{C/A}$  на 406,28 кг молока ( $p < 0,05$ ). При этом максимальное содержание жира (5,72 %) было зафиксировано у животных с генотипом  $bGH^{C/G}CASB^{C/C}$ .

### 3.5. Характеристика генетического разнообразия популяции по STR-маркерам и их ассоциация с хозяйственно-полезными признаками

Проведен популяционно-генетический анализ выборки из 2382 животных по 16 микросателлитным (STR) локусам. Установлен высокий уровень аллельного разнообразия: среднее число аллелей на локус ( $N_a$ ) составило 8,19, эффективное число аллелей ( $N_e$ ) 2,98.

Выявлено, что средняя наблюдаемая гетерозиготность в популяции ( $H_o = 0,658$ ) превышает ожидаемую ( $H_e = 0,637$ ). Данный факт, подтверждаемый отрицательным значением индекса фиксации Райта ( $F_{is} = -0,034$ ) (таблица 9).

Таблица 9 – Показатели генетического разнообразия и полиморфизма по 16 STR-локусам ( $n = 2382$ )

Локус	$N_a$	$N_e$	I	$H_o$	$H_e$	$F_{is}$
TGLA227	10,000	3,326	1,347	0,712	0,699	-0,019
BM2113	7,000	1,423	0,615	0,302	0,297	-0,018
TGLA53	12,000	3,061	1,240	0,706	0,673	-0,048
ETH10	8,000	3,627	1,377	0,746	0,724	-0,031
CSRM60	12,000	4,164	1,505	0,788	0,760	-0,036
SPS115	7,000	3,033	1,268	0,723	0,670	-0,078
TGLA122	7,000	3,061	1,294	0,695	0,673	-0,033
BM1818	6,000	2,938	1,326	0,673	0,660	-0,020
CSSM66	14,000	2,982	1,383	0,677	0,665	-0,019
BM1824	6,000	2,222	1,018	0,593	0,550	-0,078
ETH3	6,000	1,607	0,614	0,404	0,378	-0,069
TGLA126	4,000	2,801	1,175	0,653	0,643	-0,016
ETH225	6,000	3,163	1,295	0,688	0,684	-0,006
INRA023	8,000	3,512	1,477	0,742	0,715	-0,037
ILSTS006	8,000	3,401	1,414	0,714	0,706	-0,011
HAUT27	10,000	3,273	1,267	0,714	0,695	-0,028
Среднее значение по всем локусам	8,188	2,975	1,149	0,658	0,637	-0,034

*Примечание:*  $N_a$  – число аллелей;  $N_e$  – эффективное число аллелей; I – информационный индекс Шеннона;  $H_o$  – наблюдаемая гетерозиготность;  $H_e$  – ожидаемая гетерозиготность;  $F_{is}$  – индекс фиксации Райта.

#### 3.5.1. Ассоциация аллельных вариантов STR-локусов с ростовыми характеристиками молодняка джерсейской породы

В результате анализа было установлено, что 12 из 16 исследованных локусов показали статистически значимую ( $p < 0,05$ ) ассоциацию с показателями роста, что

свидетельствует о их возможном сцеплении с генами или локусами количественных признаков (QTL), контролирующими данные признаки. Так, в ранний период (до 3 месяцев) наибольшую разницу по живой массе между контрастными генотипами показал локус ETH10 (до 6,64 кг), а локус CSSM66, показал нарастающее превосходство одного генотипа над другим. Носители генотипа 185/189 превосходили сверстников с генотипом 181/187 на 20,21 кг (13%) в 6 месяцев, на 29,41 кг (13%) в 10 месяцев и на 38,04 кг (14%) в годовалом возрасте.

Оценка ассоциаций полиморфизма STR-локусов с интенсивностью роста, выраженной через среднесуточные приросты в различные возрастные периоды позволила установить, что в период 0–3 месяцев максимальные различия установлены по локусу ETH225 с разницей 30,28 г (4%), в 3–6 месяцев – по локусу ILSTS006 с разницей 33,32 г (4%), а на заключительном этапе в 10–12 месяцев по локусу SPS115, где разница в среднесуточном приросте между контрастными группами достигала 181,15 г (19%).

### ***3.5.2. Ассоциация аллельных вариантов STR-локусов с показателями молочной продуктивности коров-первотелок***

Оценка влияния микросателлитов на признаки молочной продуктивности у 885 коров-первотелок показала, что из 16 исследованных локусов статистически значимую ( $p < 0,05$ ) ассоциацию с удоем за 305 дней лактации имеет только локус CSSM66. Максимальная разница между носителями контрастных генотипов (185/193 и 193/197) достигла 413,7 кг (7 %).

Более выраженная и множественная ассоциация была установлена для массовой доли жира в молоке, где статистически значимую связь с признаком показали сразу пять маркеров: ETH3, CSSM66, CSRМ60, BM2113 и BM1824. Наибольший эффект в относительном выражении продемонстрировал локус CSRМ60, где разница между наиболее контрастными генотипами (104/104 и 92/98) достигла 1,02 абсолютных процента.

Достоверных связей изученной панели STR-маркеров с массовой долей белка не установлено.

### **3.6. Биохимические показатели сыворотки крови коров джерсейской породы**

Для подтверждения того, что выявленные ассоциации генов с продуктивностью обусловлены их прямым генетическим действием, а не скрытыми метаболическими нарушениями, был проведен сравнительный биохимический анализ сыворотки крови.

На первом этапе было установлено, что экспериментальная группа животных ( $n=76$ ) по своему метаболическому профилю не отличалась от общей популяции стада ( $n=350$ ). Все основные показатели, включая общий белок (77,3 г/л), глюкозу (3,15 ммоль/л), кальций (2,72 ммоль/л) и фосфор (1,86 ммоль/л), находились в пределах физиологической нормы, что подтверждает репрезентативность выборки.

При анализе биохимических показателей в разрезе полиморфизмов генов *bGH* и *CASB* не выявлено статистически достоверных различий, указывающих на патологические сдвиги.

Таким образом, подтверждено, что реализация генетического потенциала исследуемых животных происходит в условиях сбалансированного гомеостаза.

### 3.7. Экономическая эффективность применения ДНК-маркеров в селекционной работе с джерсейской породой

Для выявления наиболее выгодных генотипов по генам *bGH* и *CASB* нами был проведен расчет экономической эффективности. Методика включала приведение показателей молочной продуктивности к единым базисным стандартам: массовая доля жира – 3,4%, белка – 3,0%. На основе полученных скорректированных данных был вычислен уровень рентабельности для каждой группы животных (таблицы 10-12).

Таблица 10 – Экономическая эффективность производства молока в зависимости от генотипа гена *bGH*

Показатель	Ед. изм.	Генотипы		
		C/C (n=72)	C/G (n=155)	G/G (n=134)
Удой за лактацию (305 дн.)	кг	6907,84	6649,29	6514,00
Содержание жира (МДЖ)	%	5,45	5,54	5,54
Расчет цены реализации				
Базисная цена реализации	руб./кг	44,165	44,165	44,165
Базисная жирность	%	3,40	3,40	3,40
Отклонение жира от базиса	%	+2,05	+2,14	+2,14
Надбавка за 0,1% жира	руб.	1,30	1,30	1,30
Корректировка цены за жир	руб./кг	+26,65	+27,82	+27,82
Расчетная цена 1 кг молока	руб.	70,82	71,99	71,99
Экономические показатели на 1 корову				
Выручка от реализации молока	руб.	489 180	478 677	468 943
Затраты на производство молока на 1 корову с учетом кормления и вет. обслуживания (за 305 дней)	руб.	347 145	347 145	347 145
Прибыль от реализации молока	руб.	142 035	131 532	121 798
Уровень рентабельности	%	40,9	37,9	35,1

В результате уровень рентабельности производства молока от коров с генотипом C/C достиг 40,9%, что на 3,0 и 5,8 абсолютных процентных пункта превышает аналогичные показатели для групп C/G (37,9%) и G/G (35,1%). Полученные данные убедительно подтверждают экономическую целесообразность использования гена *bGH* в качестве ДНК-маркера в селекционных программах, поскольку целенаправленное увеличение частоты желательной аллели С в популяции напрямую способствует повышению рентабельности и конкурентоспособности молочного скотоводства.

По гену бета-казеина уровень рентабельности производства молока от коров с генотипом С/С составил 37,9%, что на 0,8 абсолютных процентных пункта выше, чем у животных с генотипом С/А (37,1%). Было установлено, что более высокий удой у коров с генотипом С/А был почти полностью нивелирован более высокой расчетной ценой 1 кг молока у животных с генотипом С/С, обусловленной повышенным содержанием жира (72,90 руб. против 71,34 руб.).

Таблица 11 – Экономическая эффективность производства молока в зависимости от генотипа гена *CASB*

Показатель	Ед. изм.	Генотип	
		С/А (n=278)	С/С (n=81)
Удой за лактацию (305 дн.)	кг	6674,52	6568,28
Содержание жира (МДЖ)	%	5,49	5,61
Расчет цены реализации			
Базисная цена реализации	руб./кг	44,165	44,165
Базисная жирность	%	3,40	3,40
Отклонение жира от базиса	%	+2,09	+2,21
Надбавка за 0,1% жира	руб.	1,30	1,30
Корректировка цены за жир	руб./кг	+27,17	+28,73
Расчетная цена 1 кг молока	руб.	71,34	72,90
Экономические показатели на 1 корову			
Выручка от реализации молока	руб.	476 137	478 828
Затраты на производство молока на 1 корову с учетом кормления и вет. обслуживания (за 305 дней)	руб.	347 145	347 145
Прибыль от реализации молока	руб.	128 992	131 683
Уровень рентабельности	%	37,1	37,9

При анализе комплексных генотипов наиболее выгодным оказалось сочетание  $bGH^{C/C}CASB^{C/C}$ , объединившее высокий продуктивный потенциал гена *bGH* с качественными характеристиками молока от гена *CASB*. Высокую экономическую эффективность показали животные с комплексным генотипом  $bGH^{C/C}CASB^{C/C}$ . Максимальная прибыль в размере 157,0 тыс. руб. обеспечила высокий уровень рентабельности 45,2%. Для сравнения, наименее выгодным оказалось сочетание  $bGH^{G/G}CASB^{C/C}$ , рентабельность которого составила всего 34,2%. Таким образом, разница между наиболее и наименее эффективными комплексными генотипами достигает 38,4 тыс. руб. по прибыли и 11,0 абсолютных процентных пункта по рентабельности.

Таким образом, исследование доказывает, что для достижения максимальной экономической отдачи селекционная работа должна быть направлена на формирование стада с оптимальным сочетанием генотипов по нескольким генам-маркерам. Комплексный генетический подход является наиболее эффективной стратегией для повышения рентабельности и конкурентоспособности молочного скотоводства.

Таблица 12 – Экономическая эффективность производства молока в зависимости от комплексных генотипов гена *bGH* и *CASB*

Показатель	Ед. изм.	Комплексный генотип					
		<i>bGH</i> <sup>C/C</sup> <i>CASB</i> <sup>C/A</sup>	<i>bGH</i> <sup>C/C</sup> <i>CASB</i> <sup>C/C</sup>	<i>bGH</i> <sup>C/G</sup> <i>CASB</i> <sup>C/A</sup>	<i>bGH</i> <sup>C/G</sup> <i>CASB</i> <sup>C/C</sup>	<i>bGH</i> <sup>G/G</sup> <i>CASB</i> <sup>C/A</sup>	<i>bGH</i> <sup>G/G</sup> <i>CASB</i> <sup>C/C</sup>
Удой за лактацию (305 дн.)	кг	6920,29	6830,70	6673,30	6550,22	6514,01	6516,67
Содержание жира (МДЖ)	%	5,42	5,68	5,48	5,72	5,55	5,50
Расчет цены реализации							
Базисная цена реализации	руб./кг	44,17	44,17	44,17	44,17	44,17	44,17
Отклонение жира от базиса	%	+2,02	+2,28	+2,08	+2,32	+2,15	+2,10
Корректировка цены за жир	руб./кг	+26,26	+29,64	+27,04	+30,16	+27,95	+27,30
Расчетная цена 1 кг молока	руб.	70,43	73,81	71,21	74,33	72,12	71,47
Экономические показатели							
Выручка от реализации молока	руб.	487 419	504 180	475 251	486 863	469 761	465 756
Затраты на производство молока на 1 корову с учетом кормления и вет. обслуживания (за 305 дней)	руб.	347 145	347 145	347 145	347 145	347 145	347 145
Прибыль от реализации молока	руб.	140 274	157 035	128 106	139 718	122 616	118 611
Рентабельность	%	40,4	45,2	36,9	40,2	35,3	34,2

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования были получены данные и сделаны выводы:

1. В исследуемой группе коров джерсейской породы (n=361) установлен полиморфизм p.Leu127Val в гене *bGH* и p.Pro67His в гене *CASB*. Для гена *bGH* выявлено преобладание аллеля G (0,59) и статистически значимый дефицит гетерозигот (генотип C/G – 42,9%;  $\chi^2=4,79$ ; p <0,05). Для гена *CASB* установлено преобладание аллеля C с частотой 0,61 и значительный избыток гетерозигот (генотип C/A – 77,0%;  $\chi^2=137,77$ ; p <0,001).

2. Выявлены достоверные ассоциации полиморфизма исследуемых генов с динамикой роста и экстерьерными показателями. Животные с генотипом G/G в гене *bGH* характеризовались более высоким среднесуточным приростом в период с 6 до 10 месяцев (на 23,26 г, p <0,05) и превосходили сверстниц по высоте в холке (на 0,92 см, p <0,05). Установлена ассоциация генотипов гена бета-казеина с интенсивностью роста телок в период с 6 до 10 месяцев, животные с генотипом C/C

достоверно превосходили гетерозигот (C/A) по абсолютному приросту на 2,97 кг и среднесуточному на 24,66 г ( $p < 0,05$ ).

3. Генотип G/G гена *bGH*, характеризовался достоверно более высоким индексом осеменения по сравнению с аналогами генотипов C/C и C/G ( $p < 0,05$ ). Влияние полиморфизма гена *CASB* на репродуктивные качества не установлено.

4. Установлена взаимосвязь полиморфизма генов *bGH* и *CASB* с молочной продуктивностью. Генотип C/C гена *bGH* ассоциирован с наиболее высокими показателями молочной продуктивности: уровнем удоя на 258-393 кг ( $p < 0,05$ ), выходом молочного белка на 8,0-15,3 кг ( $p < 0,05$ ) в сравнении с другими генотипами. Генотип C/C гена *CASB* ассоциирован с лучшими качественными и технологическими характеристиками молока: более высоким содержанием казеина (на 0,05%,  $p < 0,05$ ), сухого обезжиренного (на 0,07%,  $p < 0,05$ ) и общего сухого остатка (на 0,20%,  $p < 0,05$ ). Сочетание комплексных генотипов  $bGH^{C/C}CASB^{C/A}$  обеспечивает максимальный выход молочного белка, что на 19,77 кг (7,5%,  $p < 0,05$ ) превышает показатели наименее продуктивной комбинации генов.

5. Оценка генетической структуры популяции по 16 STR-маркерам ( $n=2382$ ) выявила высокий уровень генетического разнообразия (средняя наблюдаемая гетерозиготность  $H_o=0,659$ ), являющийся основой для дальнейшей селекционной работы. Установлены ассоциации STR-маркеров с ключевыми хозяйственно полезными признаками. В ранний период развития (при рождении и в 3 месяца) наибольшую разницу по живой массе между контрастными генотипами показал локус ETH10 (6,64 и 14,67 кг соответственно), а в период 6 – 12 месяцев локус CSSM66, где разница последовательно возрастала с 20,21 до 38,04 кг. Динамика среднесуточных приростов на разных этапах развития ассоциирована со сменой маркеров, где в период 0 – 3 месяцев максимальные различия установлены в локусе ETH225 (30,28 г), в 3 – 6 месяцев в локусе ILSTS006 (33,32 г), в 10 – 12 месяцев в локусе SPS115 (181,15 г). По показателям молочной продуктивности максимальная разница по удою за лактацию зафиксирована между генотипами локуса CSSM66 (413,72 кг), по массовой доле жира – локуса CSRM60 (1,02 %). Достоверных ассоциаций микросателлитных локусов с массовой долей белка не выявлено.

6. Установлено, что различия в рассматриваемых хозяйственно полезных признаках у коров исследуемых полиморфизмов генов *bGH* и *CASB* носили генетически обусловленный характер. Биохимические показатели крови (общий белок, глюкоза, кальций, фосфор, каротин, кетоновые тела) у животных всех генотипов находились в пределах физиологической нормы.

7. Расчет экономической эффективности показал, что животные с генотипом  $bGH^{C/C}$  показали максимальную прибыль (142,0 тыс. руб.) и рентабельность 40,9 %, что на 20,2 тыс. руб. превышает показатели сверстниц с генотипом G/G. По гену *CASB* наибольшая рентабельность также отмечена у гомозиготных животных C/C (37,9 %) по сравнению с гетерозиготами (37,1 %). От коров с комплексным генотипом  $bGH^{C/C}CASB^{C/C}$  была получена максимальная рентабельность производства молока (45,2%), что на 11,0 абсолютных процента выше в сравнении с наименее эффективной генетической группой.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Для совершенствования продуктивных качеств крупного рогатого скота джерсейской породы рекомендуется осуществлять генотипирование, позволяющее выявлять наиболее ценных для селекции животных. При формировании стад, ориентированных на получение максимальной экономической прибыли, целесообразно проводить отбор ремонтных телок с комплексным генотипом  $bGH^{C/C}CASB^{C/C}$ . Разведение животных с данной генетической комбинацией обеспечит оптимальный баланс между высоким уровнем удоя, выходом молочных компонентов и технологическими свойствами сырья.

Рекомендуется включить в программы генетического контроля стада микросателлитные (STR) маркеры SPS115, ETH225 и CSSM66, что позволит на ранних этапах онтогенеза идентифицировать ремонтных телок с высоким генетическим потенциалом интенсивности роста и будущей молочной продуктивности

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Результаты настоящего исследования открывают перспективы для дальнейшей научной работы, сфокусированной на валидации и практическом применении рассмотренных ДНК-маркеров. Первоочередной задачей является проверка установленных ассоциаций на расширенной выборке животных и дополнение панели анализа ключевыми генами, такими как *CSN3* и *DGAT1*, для более полного понимания генетических механизмов, определяющих качественный состав сырого молока. Целесообразно углубить исследование, изучив влияние генов гормона роста и бета-казеина на динамику лактационной кривой, показатели здоровья (устойчивость к маститу, кетозу) и детальные репродуктивные признаки (продолжительность сервис-периода, легкость отелов), а также показатели продуктивного долголетия и адаптационной пластичности животных к условиям промышленной технологии. Итогом дальнейшей работы может стать разработка и апробация в производственных условиях экономически обоснованной схемы маркер-ассоциированного отбора, включающей создание внутреннего селекционного индекса для дифференцированного подбора родительских пар и повышения общей эффективности селекции джерсейской породы.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Статьи, опубликованные в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК Минобрнауки России**

1. Олейник, С. А. Продуктивность коров джерсейской породы в зависимости от их типа телосложения / С. А. Олейник, Н. З. Злыднев, **А. В. Лесняк** // Аграрный вестник Северного Кавказа. – 2024. – № 1(53). – С. 27–31. – DOI 10.31279/2949-4796-2024-1-53-27-31.

2. Олейник, С. А. Генетическое разнообразие гена гормона роста и его связь с репродуктивной функцией у джерсейского скота / С. А. Олейник, **А. В. Лесняк** //

Аграрный вестник Северного Кавказа. – 2025. – Т. 15, № 2. – С. 42–52. – DOI 10.31279/2949-4796-2025-15-2-42-52.

3. Олейник, С. А. Полиморфизм гена бета-казеина у крупного рогатого скота джерсейской породы в Ставропольском крае / С. А. Олейник, **А. В. Лесняк** // Аграрная наука. – 2025. – № 7. – С. 107–113. – DOI: 10.32634/0869-8155-2025-396-07-107-113.

#### **Статьи, опубликованные в изданиях, индексируемых в международной базе цитирования Scopus**

4. Олейник, С. А. Влияние интенсивности роста телок джерсейской породы в период онтогенеза на их молочную продуктивность / С. А. Олейник, **А. В. Лесняк** // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2023. – Т. 15, № 5. – С. 201–227. – DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-5-934.

5. Олейник, С. А. Оценка генетических параметров в субпопуляции скота джерсейской породы на основе изучения STR-маркеров и их потенциального влияния на изменчивость показателей развития животных / С. А. Олейник, **А. В. Лесняк** // Сельскохозяйственная биология. – 2025. – Т. 60, № 2. – С. 271–286. – DOI: 10.15389/agrobiology.2025.2.271rus.

#### **Статьи, опубликованные в изданиях, индексируемых в RSCI**

6. Олейник, С. А. Влияние полиморфизма генов BGN и CASB на продуктивные показатели молочного скота джерсейской породы / С. А. Олейник, **А. В. Лесняк** // Пермский аграрный вестник. – 2025. – № 3(51). – С. 119–126. – DOI 10.47737/2307-2873\_2025\_51\_119.

7. Олейник, С. А. Взаимосвязь типа телосложения и полиморфизма генов bGN и CASB с продуктивностью и экстерьером коров джерсейской породы / С. А. Олейник, **А. В. Лесняк** // Аграрный научный журнал. – 2026. – № 1. – С. 77–83. – DOI 10.28983/asj. y2026i1pp77-83.

#### **Статьи, опубликованные в других изданиях**

8. **Лесняк, А. В.** Сравнительный анализ качественных показателей молока-сырья пород крупного рогатого скота молочного направления в Ставропольском крае / А. В. Лесняк // Геномика и биотехнологии в сельском хозяйстве : сборник научных статей по материалам пленарного заседания 88-й научно-практической конференции, Ставрополь, 01 июня 2023 года. – Ставрополь : Ставропольский ГАУ, 2023. – С. 37–43.

9. **Лесняк, А. В.** Качественные показатели молока в связи с породными особенностями коров / А. В. Лесняк // Проблемы биотехнологии, селекции, кормления и кормопроизводства современного животноводства : сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию Национальной академии наук Беларуси, Жодино, 19–20 октября 2023 года. – Жодино : НПЦ НАН Беларуси по животноводству, 2023. – С. 71–75.

10. **Лесняк, А. В.** Основные качественные показатели молока коров джерсейской и айрширской пород / А. В. Лесняк // Передовые достижения науки в

молочной отрасли : Сборник научных трудов по результатам работы V Международной научно– практической конференции, Вологда-Молочное, 26 октября 2023 года. Том 1. – Вологда-Молочное: Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, 2023. – С. 411–416.

11. **Лесняк, А. В.** Особенности экстерьера коров джерсейской породы в связи с молочной продуктивностью / А. В. Лесняк // Геномика и биотехнологии в сельском хозяйстве : Сборник научных статей по материалам конференции в рамках 89-й научно-практической конференции «Аграрная наука – Северо-Кавказскому федеральному округу», Ставрополь, 06 июня 2024 года. – Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2024. – С. 36–42.

Подписано в печать 05.05.2026. Формат 60x84 1/16. Гарнитура «Таймс». Бумага офсетная.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100. Заказ № 192.

Отпечатано в типографии издательско-полиграфического комплекса СтГАУ  
«АГРУС», г. Ставрополь, ул. Пушкина, 15.