

Джаксыбаева Гульнара Григорьевна

**ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОЛИМОРФИЗМ *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* У КОРОВ
СИММЕНТАЛЬСКОЙ И КРАСНОЙ СТЕПНОЙ ПОРОД СЕВЕРНОГО
КАЗАХСТАНА**

Специальность: 4.2.5 Разведение, селекция, генетика
и биотехнология животных

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Новосибирск 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный аграрный университет» и Некоммерческом акционерном обществе высшего образования и науки «Торайгыров университет» (г. Павлодар)

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Кочнев Николай Николаевич

Официальные оппоненты: **Седых Татьяна Александровна**, доктор биологических наук, доцент, Башкирский НИИ сельского хозяйства ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центра РАН», заведующий лабораторией молекулярной генетики и селекции животных
Сарычев Владислав Андреевич, кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет», доцент кафедры общей биологии, биотехнологии и разведения животных

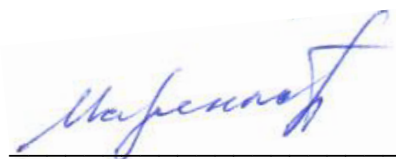
Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА имени К.И. Скрябина»

Защита диссертации состоится « 16 » октября 2025 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.025.03, созданного на базе ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ по адресу: 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160.
тел./факс: 8(383) 264-29-34, 267-05-10, e-mail: dsovet3520253@edubiotech.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ и на сайте <http://edubiotech.ru>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Маренков
Владимир Григорьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований и степень разработанности темы.

Современное развитие животноводства активно включает применение молекулярно-генетических методов для анализа микроэволюционных процессов и разработки эффективных селекционных стратегий для различных пород животных [Эрнст Л.К., 2008; Зиновьева Н.А., 2010; Калашникова Л.А., 2015; Глазко В.И., 2023; Донник И.М. и др., 2023; Петухов В.Л. и др., 2007; Столповский Ю.А., 2013; Алтухов Ю.П., 2003; Дунин И.М., 2006; Солошенко В.А., 2013 и другие]. Применение генетических маркеров позволяет исследовать аллелофонд популяций, определять уровень генетического разнообразия и выявлять животных с высокой потенциальной племенной ценностью.

Изучение генетического фонда различных пород по генам, связанным с продуктивностью, продолжает оставаться актуальным направлением. Исследователи указывают на риск снижения генетического разнообразия, как между породами, так и внутри них, что связано с использованием ограниченного количества производителей, линейным разведением, неконтролируемым инбридингом и поглотительным скрещиванием [Кочнев Н.Н., 2003; Смарагдов М.Г., 2009, Модоров М.В., 2021 и другие]. Массовое разведение голштинов уже привело к исчезновению многих аборигенных пород, отличающихся уникальными адаптивными качествами и устойчивостью к заболеваниям. В высокопродуктивных стадах отмечается сокращение срока продуктивного использования животных и их преждевременная выбраковка [Паронян И.А. и др., 2010, Юшкова И.В., 2016, Горелик О.В., 2020 и другие].

Поиск и внедрение генетических маркеров продуктивности в селекционных программах должны сопровождаться сохранением генетического разнообразия, обеспечивающего адаптивные свойства животных в условиях изменяющейся или неблагоприятной среды. Изучение однонуклеотидных полиморфизмов структурных генов (SNP) с применением метода разгона фрагментов рестрикции в полупроводниковом электрофорезном геле является перспективным способом контроля генетического разнообразия [Инге-Вечтомов С.Г., 1989]. Анализ генетического полиморфизма отдельных локусов также проводится для выявления возможных ассоциаций с продуктивными характеристиками животных.

Для использования ДНК-маркеров в селекции наряду с традиционными методами необходимо идентифицировать соответствующие гены, определить их полиморфизм и провести анализ их эффективности на основе сопоставления фенотипических проявлений при различных генотипах.

Среди функциональных генов, продукты которых играют ключевую роль в формировании молочной продуктивности, наиболее изучены гены каппа-казеина (CSN3),

альфа-лактальбумина (*LALBA*), бета-лактоглобулина (*BLG*), пролактина (*PRL*), соматотропина (*GH*), лептина (*LEP*). В меньшей степени информации о гене гипофизарного фактора транскрипции (*PIT-1*), который контролирует дифференциацию клеток гипофиза, управляет синтезом соматотропина, пролактина и тиреотропного гормона, регулирует экспрессию их генов [Anderson B., Rosenfeld M.G., 1994; Гайнутдинова Э.Р., Сафина Н.Ю. и др., 2019]. Аллельные варианты этого гена могут влиять на синтез молока [Renaville R. et al., 1997; Mattos K.K. et al, 2004], а мутации приводить к дефициту соматотропина [Li S. et al, 1990].

Ген *CSN* связывают с технологическими свойствами молока и белковомолочностью [Гатилова Е. В., 2020; Лоретц О. Г. 2014; Валитов Ф.Р., 2014; Крупин Е.О., 2017; Тинаев А., 2005; Алипанах М., 2005]. Наиболее благоприятным для сыроварения считается молоко от коров с генотипом *CSN^{BB}*, так как такое молоко обладает большим количеством молочного белка и наилучшими коагуляционными свойствами. Ген *BLG* также изучают в связи с белковомолочностью и биологической ценностью молока, аллель *BLG^B* связывают с высоким содержанием казеиновых белков и процентом жира в молоке, в то время как аллель *BLG^A* – с количеством сывороточных белков [Patel R., 2007; Pagnacco G., 1987; Matejicek A., 2005]. Эти гены рассматривают в качестве возможных маркеров продуктивных признаков животных.

Однако, основываясь на исследованиях полиморфизма изучаемых генов, ассоциаций с признаками продуктивности, следует отметить проблему их низкой воспроизводимости и отсутствие универсальности для пород одного направления продуктивности, а иногда и для различных стад одной породы. Результаты ассоциаций часто имеют противоречивый характер. Дальнейшие исследования необходимы для накопления информации о функционировании генов, возможности применения известного полиморфизма для контроля генетического разнообразия популяций и прогнозирования их продуктивности.

Цель исследований: изучение полиморфизма генов *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* у крупного рогатого скота красной степной и симментальской пород, разводимых в условиях северного Казахстана, а также выявление связи между генетическими маркерами, продуктивными и интерьерными показателями животных.

В задачи исследований входило:

1. Определить частоту встречаемости вариантов аллелей и генотипов по генам *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* в двух популяционных выборках крупного рогатого скота;
2. Оценить межпородные различия по генетической структуре изучаемых локусов;
3. Изучить связь генотипов по генам *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* с показателями молочной продуктивности у полновозрастных коров;

4. Изучить биохимические, морфологические показатели крови животных с разными генотипами;
5. Исследовать комплексное влияние полиморфизма генов на молочную продуктивность, биохимические и морфологические показатели крови животных;
6. Оценить влияние генотипа по генам *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* на стрессоустойчивость коров.

Научная новизна. Впервые у симментальской и красной степной пород, разводимых на территории северного Казахстана, установлены частоты аллельных вариантов генов *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* и описана генотипическая структура популяций. Изучены генетические параметры изменчивости по трем локусам и межпородные различия по генотипам. Показана связь между изученными генотипами и показателями молочной продуктивности коров красной степной и симментальской пород, а также биохимическим, гематологическим и гормональным статусом животных. Установлено влияние генотипов на стрессоустойчивость животных.

Теоретическая и практическая значимость работы. База данных о полиморфизме генов *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* в молочных породах была пополнена новыми сведениями. Обнаружены доказательства того, что аллели этих генов оказывают количественное влияние на молочную продуктивность крупного рогатого скота, разводимого в северном Казахстане. Выявлены наиболее предпочтительные генотипы животных, которые можно использовать в подборе животных для повышения эффективности племенной работы. Результаты исследований используются в учебном процессе по направлениям подготовки: «Биотехнология», «Биология», «Технология производства продуктов животноводства», «Прикладная биология и моделирование в медицине», «Технология продовольственных продуктов» в Торайгыров университете (г. Павлодар).

Методология и методы исследования. Методологической основой послужили работы отечественных и зарубежных учёных в области биологических и сельскохозяйственных наук. Анализ полиморфизма генов *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* проведен с использованием методов селективной сорбции и последующей элюции ДНК, ПЦР, гель-электрофорез, ПЦР-ПДРФ. Для установления концентрации биохимических показателей крови использовали методы фотометрии и фотоэлектрической колориметрии. Морфологические показатели крови определены методами кондуктометрии, фотометрии. Количественный уровень гормонов стресса определен с помощью твердофазного иммуноферментного анализа.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Генетическая структура, уровень гетерозиготности и состояние генного равновесия по полиморфным локусам *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* в красной степной и симментальской породах

крупного рогатого скота, разводимого на территории северного Казахстана, свидетельствуют о различной степени генотипической изменчивости исследуемых популяций.

2. Выявленные ассоциации отдельных и комплексных генотипов по *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* с некоторыми показателями молочной продуктивности, морфологическими и биохимическими показателями крови, в том числе кортизолом и адренокортикотропным гормоном, указывают на участие полиморфизма этих генов в формировании признаков.

Степень достоверности и апробация результатов исследований. Достоверность полученных результатов, обоснованность научных положений и выводов, изложенных в диссертационной работе, обеспечиваются объемом использованного материала, применением стандартных методов его сбора и обработки, а также современными методами статистического анализа исходных данных.

Основные результаты исследований были доложены: на заседаниях Учёного совета Новосибирского Государственного аграрного университета (2020–2024 гг.), на международных научно-практических конференциях «Научный форум: Инновационная наука» (Москва, 2023), «Актуальные проблемы прикладной биотехнологии» (Павлодар, 2023), «Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке» (Новосибирск, 2023), «Advances in Science and Technology» (Москва, 2023), «Современные проблемы в животноводстве: состояние, решение, перспективы» (Новосибирск, 2023).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК – 4 статьи («Вестник НГАУ», «Ветеринария, зоотехния и биотехнология»).

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 189 страницах, содержит 36 таблиц, содержит следующие разделы: введение, обзор литературы, материалы и методы, результаты исследований, обсуждение, выводы, список литературы, приложения. Список использованной литературы включает 296 источников, в том числе 95 иностранных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе приведен аналитический обзор полиморфизма генов у крупного рогатого скота, его влияния на показатели продуктивности, морфологический и биохимический состав крови, а также стрессоустойчивость животных.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования были проведены в период с 2017 по 2024 годы на базе Испытательной лаборатории НИИ агроинновации и биотехнологии НАО «Торайгыров университет» (г. Павлодар) и кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии Новосибирского ГАУ. Схема исследования представлена на рисунке 1.

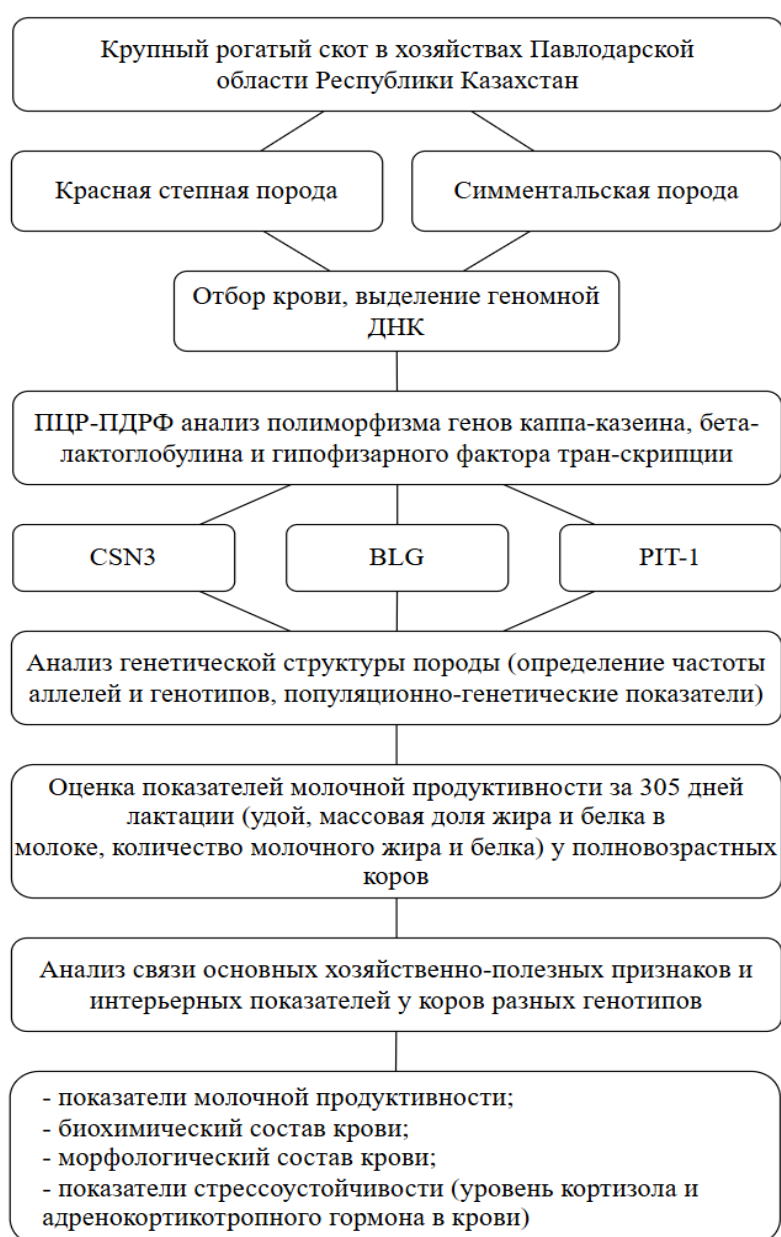


Рисунок 1 – Схема исследований

Объектом исследования послужили животные двух пород крупного рогатого скота молочного направления продуктивности: коровы красной степной породы хозяйства ТОО «Победа» Павлодарской области, Щербактинского района (n=120); симментальской породы племенного хозяйства ТОО «Галицкое» Павлодарской области, Успенского района (n=116). Предметом исследования являлись полиморфные гены: каппа-казеин (*CSN3*), бета-лактоглобулин (*BLG*), гипофизарный фактор транскрипции (*PIT-1*).

Для экстракции ДНК использовали набор реагентов ДНК-сорб-В компании АмплиСенс® (г. Москва). Оценка полиморфизма генов *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* производилась методом ПЦР-ПДРФ с использованием наборов компании Биолабмикс (г. Новосибирск), праймеров компаний «СибЭнзайм» (г. Новосибирск) и Люмипроб РУС (г. Москва), эндонуклеаз рестрикции компании «СибЭнзайм» (г. Новосибирск).

Исследование сыворотки крови на биохимические показатели проводили с использованием методов фотометрии и фотоэлектрической колориметрии в Испытательной лаборатории НИИ агроинновации и биотехнологии НАО «Торайгыров университет» (г. Павлодар) и биохимической лаборатории ТОО «NFT-KATU» НАО «Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина» (г. Астана) на биохимических анализаторах Biochem FC-120 и SMT-120V с использованием реагентов HTI (High Technology, США) и реагент-дисков Seamaty (Китай).

Определение гематологических параметров крови проводили на анализаторе MicroCC-20Vet (HTI, США) в Испытательной лаборатории НИИ агроинновации и биотехнологии НАО «Торайгыров университет» (г. Павлодар).

Количественный уровень кортизола и адренкортикотропного гормона в сыворотке крови устанавливали с помощью твердофазного иммуноферментного анализа с использованием тестов «Кортизол-ИФА» и «АКТГ-ИФА» (Хема, Россия) на фотометре «Infinite F50» (Австрия) в Испытательной лаборатории НИИ агроинновации и биотехнологии НАО «Торайгыров университет» (г. Павлодар).

Стрессоустойчивость коров оценивали по уровню кортизола в крови по методике, описанной в патенте Республики Казахстан № 9336 от 05.07.2024 года «Способ определения границ типов стрессоустойчивости молочных коров» [Бексеитов Т.К. и др., 2024].

Данные зоотехнического учета собраны из базы аналитического центра экономической политики агропромышленного комплекса Республики Казахстан «АСЕРАС». Показатели массовой доли жира, белка (%) животных определены на анализаторе качества молока «Лактан» исп. 700 (Сибагроприбор, г. Новосибирск) в Испытательной лаборатории НИИ агроинновации и биотехнологии НАО «Торайгыров университет» (г. Павлодар).

Статистическая обработка проводилась с использованием стандартного пакета Microsoft Office Excel 2016. При анализе данных молочной продуктивности, биохимии и морфологии крови оценивалась нормальность распределения признаков с помощью критерия Шапиро-Уилка, сопряженность признаков – с помощью коэффициента корреляции Пирсона (r) и рангового коэффициента Спирмена (s). Для оценки влияния генотипа на признаки с ненормальным распределением применяли критерий Краскела-Уоллиса, для попарного сравнения – метод Данна, для расчета статистических параметров при ненормальном распределении ($\bar{X}$, S_x , σ , C_v) – метод Hozo et al. (2005).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Генетическая структура симментальской и красной степной пород по генам *CSN3*, *BLG* и *PIT-1*

Генетическая структура пород, разводимых в Павлодарской области Республики Казахстан, по исследуемым локусам представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Генетическая структура пород по генам *CSN3*, *BLG* и *PIT-1*

Ген	n	Частота генотипа, %			Частота аллелей, доли ед.		χ^2
		AA	AB	BB	A	B	
Симментальская порода							
<i>CSN3</i>	103	27,2 ± 4,4	48,5 ± 4,9	24,3 ± 4,1	0,52 ± 0,049	0,48 ± 0,049	0,47
<i>BLG</i>	116	12,1 ± 3,0	50,0 ± 4,6	37,9 ± 4,5	0,35 ± 0,044	0,65 ± 0,044	1,12
<i>PIT-1</i>	59	23,7± 5,5	45,8 ± 6,4	30,5 ± 5,9	0,49 ± 0,065	0,51 ± 0,065	0,61
Красная степная порода							
<i>CSN3</i>	120	34,2 ± 4,2	49,1 ± 4,5	16,7 ±3,3	0,58 ± 0,045	0,42 ± 0,045	0,04
<i>BLG</i>	98	12,2 ± 3,2	51,0 ± 5,0	36,7 ± 4,8	0,35± 0,048	0,65 ± 0,048	0,91
<i>PIT-1</i>	120	9,2 ± 2,5	43,3 ± 4,5	47,5 ± 4,5	0,30 ± 0,042	0,70 ± 0,042	0,06

Анализ структуры пород по гену *CSN3* показал, что генетические различия между породами незначительны. На долю гетерозигот приходится примерно половина поголовья. У симментальской породы гомозиготы распределены почти одинаково, а у красной степной – частота генотипа *CSN3^{AA}* (34,2 %) в 2 раза больше, чем *CSN3^{BB}* (16,7 %) при $p < 0,001$.

Межпородных различий по частотам одинаковых генотипов по *CSN3* не выявлено, что может быть следствием отсутствия селективного отбора в отношении этого гена.

Генетическая структура по гену *BLG* у пород была практически одинаковой, также преобладают гетерозиготы (на уровне 50 %), а частоты гомозигот *BLG^{AA}* минимальны (на уровне 12 %). При том, что межпородных различий по частотам генотипов не выявлено, отмечаем высокую частоту встречаемости аллеля *BLG^B* (65 %) по сравнению с *BLG^A* (35 %), что указывает на дифференцированный вклад аллелей в формирование структуры породы животных одного направления продуктивности.

Наши данные совпадают с результатами исследований симменталов Сибири, где «желательный» генотип *BLG^{BB}* был у 39 % коров [Гончаренко Г.М. и др., 2016]. При этом, некоторые исследователи считают, что для симменталов характерна более низкая частота аллеля *BLG^B* [Парыгина Е.В. и др., 2023]. Очевидно, что локальные популяции одной и той же породы могут различаться по параметрам генетического разнообразия, поэтому наши результаты отражают особенности генофонда животных казахстанской селекции.

По гену гипофизарного фактора транскрипции (*PIT-1*) установлены межпородные различия между генотипами *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{BB}* ($p < 0,05$). У симменталов доля генотипов *PIT-1^{AA}* (23 %) превосходит красную степную породу (9,2 %), а частота альтернативной гомозиготы (*PIT-1^{BB}*) уступает ей, что указывает также на своеобразие структуры различных породных групп. При равной гетерозиготности, частота аллелей у симменталов была одинаковой, а у красной степной породы выявлено двукратное превосходство аллеля *PIT-1^B* ($p < 0,001$).

По всем генам фактическое распределение генотипов с высокой степенью достоверности совпадало с теоретически ожидаемыми данными по закону Харди-Вайнберга. Несмотря на подбор и отбор животных в искусственных популяциях, а также дрейф генов, наблюдается генное равновесие в породах. Возможно, случайный характер сочетания родительских пар и аллельных вариантов гамет нивелирует факторы влияния на генетическую структуру популяции. В условиях разведения и селекции молочного скота северного Казахстана, породы сохраняют генетическое разнообразие, которое отражается достаточно высоким уровнем гетерозиготности. Обычно гетерозиготность в популяциях ассоциируют с более высокой жизнеспособностью, а сдвиг распределения в сторону выраженного преобладания гомозигот с высоким уровнем продуктивности. В наших исследованиях для всех локусов у красной степной породы прослеживается незначительное превышение наблюдаемой гетерозиготности (47,6 %) над ожидаемой гетерозиготностью (45,3 %) и отрицательное значение индекса фиксации (-0,051), что указывает на наличие небольшого избытка гетерозигот и отсутствие инбредности. Симменталы наиболее близки к равновесному состоянию, у них индекс фиксации равен нулю.

Следовательно, генетический ресурс у исследуемых пород Казахстана для повышения продуктивного и адаптивного потенциала имеется.

3.2 Влияние генотипов по *CSN3*, *BLG*, *PIT-1* на молочную продуктивность коров

Показатели молочной продуктивности полновозрастных животных разных пород и генотипов по локусу *CSN3* представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Молочная продуктивность коров симментальской и красной степной пород с разными генотипами по *CSN3*

Показатели	Генотип	Симментальская порода			Красная степная порода		
		n	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	Cv	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	Cv
Удой, кг	<i>CSN3^{AA}</i>	28	5229 $\pm$ 115	11,5	41	7731 $\pm$ 161	13,4
	<i>CSN3^{AB}</i>	50	6243 $\pm$ 107	12,1	59	6848 $\pm$ 165	18,6
	<i>CSN3^{BB}</i>	25	7111 $\pm$ 126	8,9	20	6337 $\pm$ 246	17,4
Жир, %	<i>CSN3^{AA}</i>	28	4,23 $\pm$ 0,05	6,8	41	4,02 $\pm$ 0,03	4,8
	<i>CSN3^{AB}</i>	50	4,26 $\pm$ 0,04	6,9	59	4,0 $\pm$ 0,018	3,4
	<i>CSN3^{BB}</i>	25	4,26 $\pm$ 0,06	6,5	20	3,99 $\pm$ 0,02	1,8
Белок, %	<i>CSN3^{AA}</i>	28	3,23 $\pm$ 0,02	3,5	41	3,21 $\pm$ 0,01	2,1
	<i>CSN3^{AB}</i>	50	3,21 $\pm$ 0,01	2,7	59	3,19 $\pm$ 0,01	2,2
	<i>CSN3^{BB}</i>	25	3,25 $\pm$ 0,02	3,2	20	3,25 $\pm$ 0,4	4,9
Количество жира, кг	<i>CSN3^{AA}</i>	28	229,2 $\pm$ 6,5	15,1	41	312,5 $\pm$ 6,4	13,2
	<i>CSN3^{AB}</i>	50	268,7 $\pm$ 5,1	13,5	59	274 $\pm$ 6,9	19,5
	<i>CSN3^{BB}</i>	25	301,7 $\pm$ 6,7	11,1	20	252,5 $\pm$ 9,7	17,2
Количество белка, кг	<i>CSN3^{AA}</i>	28	172,9 $\pm$ 3,9	12,0	41	247,5 $\pm$ 4,9	12,7
	<i>CSN3^{AB}</i>	50	201,6 $\pm$ 3,3	11,4	59	219,3 $\pm$ 5,5	19,2
	<i>CSN3^{BB}</i>	25	228,9 $\pm$ 4,8	10,4	20	203,6 $\pm$ 7,9	17,5

Сравнительный анализ продуктивности коров симментальской породы разных генотипов по *CSN3* выявил достоверное положительное влияние генотипа *CSN3^{BB}* на удой, содержание жира и белка в молоке и выход молочного жира и белка ($p < 0,01$). Это согласуется с результатами, полученными другими авторами, которые считают, что отбор животных с таким генотипом может повысить эффективность селекции при работе с симментальской породой. У красной степной породы такого влияния нами не установлено, наблюдается даже тенденция снижения удоя у *CSN3^{BB}*, что указывает на неоднозначный вывод в отношении «желательного» генотипа.

Статистически значимого влияния генотипа по *BLG* у животных разных пород не установлено. Наблюдается лишь тенденция превосходства гомозигот над гетерозиготами по удою, количеству молочного жира и белка. Результаты многих исследователей демонстрируют противоречивость влияния полиморфизма *BLG* на показатели молочной продуктивности. Признавая генетическое своеобразие популяций, представляется, что вклад аллелей, напрямую

влияющих на количество и качество молока, должен быть относительно одинаковым и не зависеть от породы. Причиной низкой воспроизводимости ассоциаций могут быть индивидуальные различия по вкладу генов в формирование признака, межгенные взаимодействия, которые могут приводить даже к антагонизму между аллелями разных генов, участвующих в проявлении одного признака [Глазко В.И., 2013]. Очевидно, степень выраженности количественных признаков больше зависит от аддитивного вклада полигенов, чем от действия одного локуса.

Что касается гена *PIT-1*, который кодирует факторы транскрипции пролактина, соматотропина, участвующих в формировании молочной продуктивности, то по нему, положительное влияние установлено у коров красной степной породы с генотипом *PIT-1^{BB}* по жирности молока, выходу молочного жира и белка ($p < 0,05$). Наши результаты подтверждают данные, полученные в Ростовской области у животных этой же породы [Гетманцева Л.В., 2014]. У симменталов подобных ассоциаций не выявлено.

3.3 Влияние генотипов по *CSN3*, *BLG*, *PIT-1* на биохимические и морфологические показатели крови коров

Результаты биохимического анализа крови животных в зависимости от генотипа по локусу *CSN3* представлены в таблице 3.

Сравнительная оценка параметров крови позволила установить статистически значимое влияние генотипа по *CSN3* на концентрацию макроэлементов (Ca, P, Mg) у симменталов, с превосходством значений у *CSN3^{BB}* ($p < 0,05$). Здесь и далее показатели крови, по которым обнаружены ассоциативности с конкретным геном, могут рекомендоваться для дальнейших генетических и селекционных исследований.

Статистически достоверных различий между животными разных пород и генотипов по *BLG* по биохимическим показателям не установлено. Исключением явился уровень в крови фермента гамма-глутамилтранспептидазы, который участвует в обмене аминокислот и транспорте пептидов через клеточные мембраны. У высокопродуктивных коров с генотипом *BLG^{AA}* его концентрация была выше остальных ($p < 0,001$).

С учетом генотипов по *PIT-1* различия установлены у симменталов по креатинину и у красной степной породы по гамма-глутамилтранспептидазе и лактатдегидрогеназе между *PIT^{AA}* и *PIT-1^{AB}* ($p < 0,05$).

В целом ранжирование значений биохимии крови у коров симментальской и красной степной пород по *CSN3* демонстрирует схожую картину по аспаратаминотрансферазе (*CSN3^{AA}* > *CSN3^{AB}* > *CSN3^{BB}*), мочеvine (*CSN3^{BB}* > *CSN3^{AA}* > *CSN3^{AB}*) и общему белку в крови

($CSN3^{BB} > CSN3^{AA} > CSN3^{AB}$); по *BLG* – по мочевины ($CSN3^{AA} > CSN3^{AB} > CSN3^{BB}$), креатинину ($CSN3^{BB} > CSN3^{AA} > CSN3^{AB}$) и общему белку ($CSN3^{AA} > CSN3^{BB} > CSN3^{AB}$). Считаем, что эти метаболиты также должны стать предметом дальнейшего изучения ассоциаций полиморфизма генов.

Таблица 3 – Биохимические показатели крови коров симментальской и красной степной пород с разными генотипами по *CSN3*

Показатели	Генотип	Симментальская порода			Красная степная порода		
		n	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Cv	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Cv
Щелочная фосфатаза, ед/л	$CSN3^{AA}$	28	$73,6 \pm 4,7$	33,8	41	$63,6 \pm 1,9$	19,2
	$CSN3^{AB}$	50	$70,7 \pm 2,46$	24,3	59	$61,2 \pm 1,49$	18,7
	$CSN3^{BB}$	25	$75,3 \pm 5,23$	34,7	20	$62,7 \pm 3,17$	22,6
АЛТ, ед/л	$CSN3^{AA}$	28	$88,6 \pm 5,27$	31,5	41	$53,3 \pm 1,43$	17,1
	$CSN3^{AB}$	50	$81,1 \pm 2,83$	24,7	59	$53,7 \pm 1,31$	18,7
	$CSN3^{BB}$	25	$86,6 \pm 5,47$	31,6	20	$53,8 \pm 1,11$	9,2
АСТ, ед/л	$CSN3^{AA}$	28	$128,0 \pm 11,2$	46,4	41	$110,2 \pm 1,73$	10,0
	$CSN3^{AB}$	50	$113,5 \pm 2,14$	13,3	59	$109,5 \pm 1,54$	10,8
	$CSN3^{BB}$	25	$112,8 \pm 2,51$	11,1	20	$107,8 \pm 3,31$	13,7
Мочевина, ммоль/л	$CSN3^{AA}$	28	$4,77 \pm 0,169$	18,8	41	$4,99 \pm 0,17$	21,7
	$CSN3^{AB}$	50	$4,77 \pm 0,108$	16,0	59	$4,75 \pm 0,16$	25,0
	$CSN3^{BB}$	25	$4,98 \pm 0,172$	17,3	20	$5,15 \pm 0,29$	25,6
Кальций, ммоль/л	$CSN3^{AA}$	28	$2,12 \pm 0,031$	7,64	41	$2,1 \pm 0,041$	12,6
	$CSN3^{AB}$	50	$2,08 \pm 0,021$	7,15	59	$2,11 \pm 0,03$	11,5
	$CSN3^{BB}$	25	$2,13 \pm 0,03$	7,12	20	$2,06 \pm 0,07$	15,7
Креатинин, мкмоль/л	$CSN3^{AA}$	28	$87,0 \pm 3,44$	21,0	41	$92,2 \pm 3,66$	25,4
	$CSN3^{AB}$	50	$82,2 \pm 2,48$	21,3	59	$94,7 \pm 3,64$	29,6
	$CSN3^{BB}$	25	$88,1 \pm 4,03$	22,5	20	$97,6 \pm 5,2$	23,9
Магний, ммоль/л	$CSN3^{AA}$	28	$0,92 \pm 0,06$	36,5	41	$0,75 \pm 0,02$	16,0
	$CSN3^{AB}$	50	$1,1 \pm 0,06$	35,6	59	$0,74 \pm 0,02$	22,1
	$CSN3^{BB}$	25	$1,17 \pm 0,07$	27,1	20	$0,81 \pm 0,03$	14,3
Фосфор, ммоль/л	$CSN3^{AA}$	28	$2,19 \pm 0,06$	14,5	41	$2,07 \pm 0,03$	8,7
	$CSN3^{AB}$	50	$2,12 \pm 0,043$	14,2	59	$1,92 \pm 0,03$	13,7
	$CSN3^{BB}$	25	$2,23 \pm 0,06$	13,0	20	$1,93 \pm 0,06$	14,0
Общий белок, г/л	$CSN3^{AA}$	28	$88,3 \pm 1,96$	11,8	41	$73,0 \pm 0,81$	7,11
	$CSN3^{AB}$	50	$84,6 \pm 2,9$	24,2	59	$72,5 \pm 0,88$	9,35
	$CSN3^{BB}$	25	$90,4 \pm 2,38$	13,2	20	$74,0 \pm 1,88$	11,4

Исследуя особенности метаболического профиля животных, мы пытались найти общие закономерности изменений и оценить степень потенциальной вовлеченности генов в функционирование организма. И даже в отсутствии различий между средними значениями, важно было обратить внимание на изменчивость показателей, которая могла существенно отличаться в генотипических группах. Разные коэффициенты вариации получены в отношении аспаратаминотрансферазы и общего белка в крови (по *CSN3*, *BLG*), Ca и Mg (по *BLG*) и

аланинаминотрансферазы (по *PIT-1*). Возможно, разная изменчивость этих показателей в группах животных обусловлена участием исследуемых генов в их метаболизм.

Наряду с биохимией крови, оценили её морфологический состав. При том, что все биохимические и морфологические показатели находились в границах референсных значений, выявлены достоверные различия между генотипами, указывающие на ассоциативную связь с исследуемыми полиморфизмами. У симменталов по *CSN3* различия установлены по процентному содержанию гранулоцитов, ширине распределения эритроцитов и проценту гематокрита ($p < 0,05$). У красной степной породы по этому гену различия подтвердились по гранулоцитам, гематокриту, с добавлением показателя гемоглобина ($p < 0,05$).

В породах схожая картина ранжирования значений наблюдается по числу и проценту лимфоцитов ($CSN3^{AB} > CSN3^{BB} > CSN3^{AA}$), количеству эритроцитов ($CSN3^{AA} > CSN3^{BB} > CSN3^{AB}$) и среднему объёму тромбоцитов ($CSN3^{BB} > CSN3^{AA} > CSN3^{AB}$).

Оценка морфологических показателей крови у симменталов по полиморфным вариантам гена *BLG* выявила различия по проценту лимфоцитов, показателю гематокрита, у красной степной породы – по значениям среднего объема эритроцитов и однородности размера тромбоцитов ($p < 0,05$). Схожий ранжированный ряд у пород отмечен по проценту смеси моноцитов, эозинофилов, базофилов и незрелых клеток ($BLG^{BB} > BLG^{AA} > BLG^{AB}$).

Животные разных генотипов по *PIT-1* отличались по концентрации гемоглобина, превышение было у гетерозигот ($p < 0,05$). Ранжированные ряды в породах по этому гену совпадали по гематокриту и однородности размера тромбоцитов. Подобные совпадения у пород, очевидно, могут носить случайный характер, а неоднозначный результат влияния полиморфизма на биохимию и морфологию крови отражать лишь физиологический статус коров, не связанный с конкретным генотипом. Поэтому необходимы дальнейшие исследования по влиянию генов на формирование интерьерных признаков у разных возрастных и породных групп животных.

3.4 Влияние генотипов *CSN3*, *BLG*, *PIT-1* на показатели стрессоустойчивости коров

Анализируя результаты исследования влияния генов на стрессоустойчивость животных, следует отметить различия по уровню гормонов (АКТГ, кортизол), значения которых использовали в распределении коров по типам стрессоустойчивости, в группах разных генотипов, а также по частоте встречаемости разных типов в пределах одного полиморфизма (табл. 4).

В целом уровень кортизола и АКТГ у симменталов с генотипом *CSN3*^{AA} был выше, чем с генотипами *CSN3*^{BB} и *CSN3*^{AB} ($p < 0,05$). Статистически достоверных различий между

животными разных генотипов по *BLG* и *PIT-1* у этой породы по содержанию гормонов не установлено.

У красной степной породы, в отличие от симменталов, уровень кортизола и АКТГ был выше у животных с генотипом *CSN3^{BB}* ($p < 0,05$). По другим генам статистически значимых различий также не выявлено.

Таблица 4 – Концентрации гормонов в крови коров симментальской и красной степной пород в зависимости от генотипа *CSN3*, *BLG*, *PIT-1*

Показатели	Генотип	Симментальская порода			Красная степная порода		
		n	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Cv	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$	Cv
CSN3							
АКТГ, пг/мл	CSN3 ^{AA}	28	89,6 ± 8,13	48,0	41	24,0 ± 7,46	79,1
	CSN3 ^{AB}	50	46,3 ± 2,74	41,8	59	54,3 ± 7,2	71,9
	CSN3 ^{BB}	25	39,7 ± 3,3	41,6	20	74,1 ± 11,1	67,1
Кортизол, нмоль/л	CSN3 ^{AA}	28	281,6 ± 35,7	67,1	41	58,7 ± 4,74	51,7
	CSN3 ^{AB}	50	101,4 ± 8,63	60,2	59	100,9 ± 5,12	39,0
	CSN3 ^{BB}	25	64,4 ± 3,78	29,3	20	119,5 ± 7,26	27,2
BLG							
АКТГ, пг/мл	BLG ^{AA}	14	56,3 ± 13,1	87,1	12	28,1 ± 6,84	84,2
	BLG ^{AB}	58	59,9 ± 4,42	56,3	50	48,8 ± 8,23	79,1
	BLG ^{BB}	44	51,6 ± 4,32	55,6	36	62,3 ± 10,9	85,1
Кортизол, нмоль/л	BLG ^{AA}	14	170,6 ± 54,1	83,6	12	49,9 ± 8,93	38,7
	BLG ^{AB}	58	151,6 ± 16,7	83,8	50	89,4 ± 5,81	46,0
	BLG ^{BB}	44	135,1 ± 21,7	76,6	36	101,4 ± 8,05	47,6
PIT-1							
АКТГ, пг/мл	PIT-1 ^{AA}	14	49,3 ± 5,65	42,9	11	41,3 ± 10,7	85,8
	PIT-1 ^{AB}	27	55,3 ± 6,94	65,1	52	49,4 ± 8,09	68,7
	PIT-1 ^{BB}	18	55,6 ± 8,15	62,2	57	46,4 ± 7,27	72,3
Кортизол, нмоль/л	PIT-1 ^{AA}	14	113,2 ± 17,8	58,9	11	89,6 ± 11,3	41,9
	PIT-1 ^{AB}	27	136,5 ± 29,0	81,4	52	89,7 ± 5,72	46,0
	PIT-1 ^{BB}	18	156,1 ± 38,8	65,5	57	89,5 ± 5,88	49,6

Распределение животных по типам стрессоустойчивости по концентрации кортизола в крови животных выявило разное соотношение долей типов стрессоустойчивости в породах. Так, у симменталов низкая стрессоустойчивость была у 20 % животных, остальные отнесены к среднему и высокому типу. У красной степной породы доля животных с низкой стрессоустойчивостью выше (около 32 %), чем у симменталов ($p < 0,05$). При этом, симменталы в 2 раза превосходят красную степную породу по доле среднего типа стрессоустойчивости ($p < 0,001$) и значительно уступают ей по доле животных с высокой стрессоустойчивостью ($p < 0,05$).

Распределение по типам стрессоустойчивости животных с разными аллельными вариантами генов показало, что в группе симменталов с генотипом *CSN3^{AB}* было больше

животных со средним и высоким типом стрессоустойчивости, чем низким ($p<0,05$). У гетерозиготных коров доля животных со средним типом выше, чем у коров с генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{BB}$ ($p<0,05$).

У симменталов с генотипом BLG^{AA} превышает доля среднего типа (10,7 %) над низким (6,8 %) при $p<0,01$, с генотипом BLG^{AB} – доля высокого типа (26,7 %) над средним (12,1 %) и низким (11,2 %) при $p<0,001$. Различия между долями низкого типа у симменталов с генотипом BLG^{AB} и гомозиготами BLG^{AA} достоверны при $p<0,01$, среднего и высокого – между гетерозиготами и BLG^{BB} ($p<0,01$). У симменталов с любым генотипом $PIT-1$ доля среднего типа достоверно превышает процент с низким и высоким типом стрессоустойчивости ($p<0,05$).

У коров красной степной породы соотношение долей меняется. У гомозигот по гену $CSN3$ встречается больше среднего типа, чем низкого и высокого ($p<0,05$). У гетерозигот был выше процент с низким типом стрессоустойчивости чем у гомозигот ($p<0,05$). Средний тип встречается чаще у животных с генотипами $CSN3^{AA}$ и $CSN3^{AB}$ чем у $CSN3^{BB}$ ($p<0,05$). Животных с высоким типом стрессоустойчивости было больше в группе с гетерозиготным генотипом чем с $CSN3^{BB}$ ($p<0,05$).

Коровы красной степной породы с разными генотипами по гену BLG относительно одинаково распределены по типам стрессоустойчивости: с генотипом BLG^{AA} – на уровне 3–6 %, BLG^{AB} – 12–19 % и BLG^{BB} – 10–15 %. При этом различия между долями низкого типа у гомозигот BLG^{AA} и гетерозигот достоверны при $p<0,05$, высокого типа – у гетерозигот и BLG^{BB} при $p<0,001$.

У животных красной степной породы с генотипами $PIT-1^{AB}$ и $PIT-1^{BB}$ превалирует высокий и низкий тип стрессоустойчивости. Различия между долями высокого и среднего типов в пределах генотипа $PIT-1^{BB}$ достоверны при $p<0,05$. Различия долей низкого и высокого типов стрессоустойчивости между генотипами $PIT-1^{AB}$ и $PIT-1^{AA}$, а также $PIT-1^{AA}$ и $PIT-1^{BB}$ статистически достоверны ($p<0,001$).

Таким образом, можно сделать заключение о том, что полиморфизм изученных локусов ассоциирован с уровнем гормонов стресса и влияет на стрессоустойчивость животных.

3.5 Влияние комплексных генотипов на продуктивные, биохимические и гематологические показатели животных

Установлено влияние комплексных генотипов на показатели продуктивности, морфологию и биохимию крови у животных симментальской породы (табл. 5).

Удой коров с генотипом $CSN3^{BB}BLG^{AB}$ был на 1613 кг больше чем с $CSN3^{AA}BLG^{AB}$ ($p<0,001$), $CSN3^{AB}BLG^{BB}$ на 862 кг больше чем с $CSN3^{AA}BLG^{AB}$ ($p<0,001$), $CSN3^{BB}BLG^{BB}$ на 1150

кг больше чем с $CSN3^{AB}BLG^{AA}$ ($p<0,01$), $CSN3^{BB}BLG^{AB}$ на 751 кг больше чем с $CSN3^{AB}BLG^{BB}$ ($p<0,01$).

По количеству молочного жира генотипы $CSN3^{BB}BLG^{BB}$, $CSN3^{BB}BLG^{AB}$ и $CSN3^{AB}BLG^{BB}$ превышали показатель $CSN3^{AA}BLG^{AB}$ соответственно на 79,2, 64,6 и 35,2 кг ($p<0,001$). Разница между комбинациями генотипов $CSN3^{AB}BLG^{BB}$ и $CSN3^{BB}BLG^{BB}$ составила 44 кг ($p<0,01$).

Таблица 5 – Влияние комбинаций генотипов по $CSN3$, BLG на показатели животных симментальской породы

Показатель	Генотип				
	$CSN3^{AA}BLG^{AB}$	$CSN3^{AB}BLG^{AA}$	$CSN3^{AB}BLG^{BB}$	$CSN3^{BB}BLG^{AB}$	$CSN3^{BB}BLG^{BB}$
Удой, кг	5307±152,6***	–	–	6920±176,2	–
	5307±152,6***	–	6169±169,5	–	–
	–	6055±303,7**	–	–	7205±217,0
	–	–	6169±169,5**	6920±176,2	–
Количество жира, кг	225,8±8,15***	–	261±8,34	–	–
	225,8±8,15***	–	–	290,4±10	–
	225,8±8,15***	–	–	–	305±10,0
	–	–	261±8,34**	–	305±10,0
Количество белка, кг	170,6±4,78***	–	–	219,6±7,46	–
	–	193,7±7,89**	–	–	235,9±7,04
	–	–	197,9±5,74**	–	235,9±7,04
Процент гранулоцитов GRA, %	63,1±1,52**	–	–	49±3,96	–
Ширина распределения эритроцитов RDW-SD, фл	32,8±0,51***	–	–	36,4±0,98	–
АКТГ, пг/мл	88,0±9,89***	–	42,6±3,71	–	–
	88,0±9,89***	–	–	–	41,1±4,4
	88,0±9,89***	–	–	39,9±4,5	–
Кортизол, нмоль/л	256,6±38,2***	108,2±22,7	–	–	–
	–	–	94,6±6,65***	69,5±6,83	–
	–	–	94,6±6,65***	–	62,5±4,89

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

По содержанию молочного белка генотип $CSN3^{BB}BLG^{AB}$ превышал генотип $CSN3^{AA}BLG^{AB}$ на 49 кг ($p<0,001$). Разница выявлена между $CSN3^{BB}BLG^{BB}$ и $CSN3^{AB}BLG^{BB}$, а также $CSN3^{BB}BLG^{BB}$ и $CSN3^{AB}BLG^{AA}$ ($p<0,01$). Наивысшие показатели удоя, количества жира и белка в молоке отмечены у коров с генотипом $CSN3^{BB}BLG^{BB}$.

Животные с генотипом $CSN3^{AA}BLG^{AB}$ имели выше процент гранулоцитов (63,1 %) по сравнению с $CSN3^{BB}BLG^{AB}$ (49 %) при $p<0,01$.

Наибольший уровень адренокортикотропного гормона (АКТГ) отмечен в генотипе $CSN3^{AA}BLG^{AB}$, он превышал значения генотипов $CSN3^{AB}BLG^{BB}$, $CSN3^{BB}BLG^{BB}$ и $CSN3^{BB}BLG^{AB}$

($p < 0,001$). Наибольшее количество кортизола было у симменталов с генотипом $CSN3^{AA}BLG^{AB}$, которое превышало показатель $CSN3^{AB}BLG^{AA}$ ($p < 0,001$).

У коров красной степной породы также установлено статистически значимое влияние комплексных генотипов. Животные с генотипом $CSN3^{BB}BLG^{BB}$, в отличие от симменталов, уступали коровам с генотипом $CSN3^{AA}BLG^{BB}$ по удою, количеству жира и белка в молоке при $p < 0,001$.

Содержание гемоглобина у животных с генотипом $CSN3^{AA}BLG^{BB}$ превышало значения $CSN3^{AB}BLG^{AB}$ и $CSN3^{AB}BLG^{BB}$ в среднем на 15,5 г/л ($p < 0,001$). Показатель гематокрита в комбинации $CSN3^{AA}BLG^{BB}$ больше по сравнению с $CSN3^{BB}BLG^{BB}$ ($p < 0,01$).

Наибольший уровень АКТГ, отмеченный в генотипе $CSN3^{BB}BLG^{BB}$, превышает значения $CSN3^{AA}BLG^{BB}$ ($p < 0,001$).

Количество кортизола, наибольшее в генотипе $CSN3^{BB}BLG^{BB}$ (138,1 нмоль/л), превышает показатель $CSN3^{AA}BLG^{BB}$ на 78,2 нмоль/л ($p < 0,001$). Минимальный уровень кортизола в генотипе $CSN3^{AA}BLG^{BB}$ (59,9 нмоль/л) уступает значениям $CSN3^{AB}BLG^{AB}$ и $CSN3^{AB}BLG^{BB}$ соответственно на 43,3 и 47,5 нмоль/л ($p < 0,001$).

3.6 Сопряженность признаков продуктивности, биохимии и гематологии у животных разных генотипов

Полиморфизм генов может быть причиной структурно-функциональных изменений белков, а это, в свою очередь, может приводить не только к отличиям признаков, но и их взаимосвязям. Корреляционный анализ связи молочной продуктивности с биохимическими и гематологическими показателями животных разных пород и генотипов показал, что коэффициенты корреляции между признаками отличаются незначительно, а влияние генотипа на параметры не существенны. При этом отметим, что удои высоко положительно коррелируют с гемоглобином и гематокритом и высоко отрицательно с гормонами (АКТГ, кортизол) независимо от породы и генотипической принадлежности коров по генам $CSN3$ и BLG . Следует также обратить внимание на высокую отрицательную корреляцию у животных красной степной породы с генотипом $PIT-1^{AA}$ между массовой долей белка в молоке, а также количеством молочного жира и общим содержанием белка в крови ($r = -0,651$) и прямо противоположную зависимость между жирностью молока и содержанием белка в крови у животных с генотипом BLG^{AA} ($r = +0,639$). При том, что белок в молоке положительно коррелирует с жирностью, можно предположить, что полиморфизмы генов все-таки могут влиять на структурно-функциональную зависимость признаков, что требует дальнейшего исследования на других популяционных выборках.

Таким образом, изучение полиморфизма генов в породах, разводимых на территории северного Казахстана, его связи с молочной продуктивностью, морфологическими и биохимическими параметрами крови, позволило получить дополнительную информацию о предлагаемых генетических маркерах крупного рогатого скота, в том числе для оценки функциональной изменчивости признаков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Генетическая структура симментальской и красной степной пород по локусам *CSN3*, *BLG* и *PIT-1* характеризуется высокой частотой гетерозигот (43,3–50,0 %). Доля гомозигот в породах варьирует. У симменталов частота *CSN3^{AA}* и *CSN3^{BB}* составляет 27,2 и 24,3 % соответственно, у красной степной – 34,2 и 16,7 %. Частоты гомозигот по гену *BLG* у двух пород распределены относительно одинаково – на уровне 12 % (*BLG^{AA}*) и 37 % (*BLG^{BB}*). Межпородных различий по частотам одинаковых генотипов по *CSN3*, *BLG* не установлено. В отличие от равного соотношения аллельных вариантов *CSN3*, частота *BLG^B* в 1,8 раза выше альтернативного аллеля ($p < 0,01$).

2. Установлены межпородные различия по частоте генотипов *PIT-1^{AA}* и *PIT-1^{BB}* ($p < 0,05$). У симменталов частота гомозигот составляет 23,7 % (*PIT-1^{AA}*) и 30,5 % (*PIT-1^{BB}*), а у красной степной породы – соответственно 9,2 и 47,5 %. Частотное распределение аллелей у симменталов было относительно равным, у красной степной породы превалирует *PIT-1^B* (70 против 30 %).

3. По всем локусам соотношение генотипов соответствует состоянию генного равновесия Харди-Вайнберга. У красной степной породы незначительное превышение средней наблюдаемой гетерозиготности (47,6 %) над ожидаемой (45,3 %) и отрицательное значение индекса фиксации (-0,051) указывает на отсутствие инбредности и наличие адаптивного и продуктивного потенциала животных.

4. У коров симментальской породы установлено положительное влияние генотипа *CSN3^{BB}* и сочетания *CSN3^{BB}BLG^{BB}* на удои, выход молочного белка и жира ($p < 0,05$). У красной степной породы отмечено превосходство животных с генотипом *PIT-1^{BB}* по жирности, выходу молочного жира и белка ($p < 0,05$) и с комбинацией *CSN3^{AA}BLG^{BB}* по удою, количеству молочного белка и жира ($p < 0,05$). Статистически достоверных различий между коровами красной степной породы разных генотипов по *CSN3* не установлено. Животные двух пород с разными генотипами по *BLG* не отличались по показателям молочной продуктивности.

5. Выявлены ассоциации генов с биохимическими показателями крови. Различия между группами симменталов разных генотипов по гену *CSN3* установлены по макроэлементам (Ca, P,

Mg) с превосходством значений у $CSN3^{BB}$ ($p < 0,05$). У высокопродуктивных коров с генотипом BLG^{AA} концентрация гамма-глутамилтранспептидазы была выше остальных генотипов ($p < 0,001$). Различия между PIT^{AA} и $PIT-1^{AB}$ установлены у симменталов по креатинину и у красной степной породы по гамма-глутамилтранспептидазе и лактатдегидрогеназе ($p < 0,05$). Схожие ранжированные ряды значений крови в породах были по гену $CSN3$ по аспаратаминотрансферазе, мочеvine и общему белку; по BLG – по мочеvine, креатинину и общему белку.

6. Морфологический состав крови животных разных генотипов отличался. У симменталов по гену $CSN3$ установлены различия по процентному содержанию гранулоцитов, ширине распределения эритроцитов и проценту гематокрита ($p < 0,05$), BLG – по проценту лимфоцитов, показателю гематокрита ($p < 0,05$), $PIT-1$ – по концентрации гемоглобина ($p < 0,05$). У красной степной породы различия по $CSN3$ были по гранулоцитам, гематокриту и гемоглобину ($p < 0,05$), BLG – по среднему объему эритроцитов и однородности размера тромбоцитов ($p < 0,05$), $PIT-1$ – по однородности размера тромбоцитов ($p < 0,05$). Схожие ранжированные ряды значений в породах позволяют рекомендовать показатели для дальнейшего изучения ассоциаций генетического полиморфизма.

7. Животные симментальской породы с генотипом $CSN3^{BB}$ имели более низкие уровни кортизола и адренокортикотропного гормона по сравнению с другими генотипами ($p < 0,001$), что отражает их повышенную стрессоустойчивость. У красной степной породы, напротив, уровень гормонов был выше у животных с генотипом $CSN3^{BB}$ ($p < 0,001$). По генам BLG и $PIT-1$ статистически значимых различий не выявлено.

8. Установлено влияние полиморфизма генов на стрессоустойчивость животных. Статистически значимые различия обнаружены по распределению типов стрессоустойчивости у животных разных генотипов. У симменталов доля животных с высоким типом стрессоустойчивости преобладает у генотипа BLG^{AB} , со средним – у $CSN3^{AB}$, BLG^{BB} и $PIT-1^{AB}$. Коровы красной степной породы со средним и высоким типом стрессоустойчивости имели те же генотипы, с добавлением $CSN3^{AA}$ и $PIT-1^{BB}$.

9. Установлены степень и направление связи между показателями молочной продуктивности, гематологическими и биохимическими показателями крови у животных симментальской и красной степной пород с учетом их генотипической принадлежности, которые можно использовать в оценке функциональной изменчивости признаков.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Маркер-ассоциированная селекция является перспективной и нуждается в продолжение исследований генетического разнообразия разных пород по SNP-маркерам и влияния генов на продуктивные, воспроизводительные и адаптивные признаки животных. Необходимо дальнейшее изучение участия полиморфных вариантов генов в формирование интерьерных показателей, отражающих биохимический, гематологический и иммунологический статус животных, с учетом специфических породных, технологических, природно-климатических и других факторов, определяющих продуктивный и адаптивный потенциал. Необходимо расширить список потенциальных SNP-маркеров, ассоциированных с количественными и качественными показателями продуктивности, воспроизводства и адаптации, для оптимизации использования генетических ресурсов в племенной работе и программах геномной селекции.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации

в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Джаксыбаева Г.Г. Полиморфные варианты гена *PIT-1* крупного рогатого скота симментальской, красной степной пород республики Казахстан / Г.Г. Джаксыбаева, Н.Н. Кочнев, Н.Н. Кайниденов // Вестник НГАУ – 2023 – № 3 (68) – С. 167–175.

2. Джаксыбаева Г.Г. Биохимические и гематологические характеристики крови коров красной степной породы, разводимой в Павлодарской области Казахстана / Г.Г. Джаксыбаева, Н.Н. Кочнев // Ветеринария, зоотехния и биотехнология – 2024. – № 3 – С. 52–63.

3. Джаксыбаева Г.Г. Полиморфные варианты генов *CSN3*, *BLG* крупного рогатого скота симментальской и красной степной пород Казахстанской селекции / Г.Г. Джаксыбаева, Н.Н. Кочнев, Н.Н. Кайниденов // Ветеринария, зоотехния и биотехнология – 2024. – № 2 – С. 123–142.

4. Джаксыбаева Г.Г. Идентификация генов, ассоциированных с молочной продуктивностью коров симментальской и красной степной пород Казахстана / Г.Г. Джаксыбаева, Н.Н. Кочнев // Вестник НГАУ. – 2025. – № 1. – С. 142–150.

5.

в других изданиях

6. Джаксыбаева Г.Г. Видовое генотипирование по полиморфизму сателлитной ДНК / Г.Г. Джаксыбаева, Н.Н. Кочнев // Научный форум: Инновационная наука: сб. ст. по материалам LXVI междунар. науч.-практ. конф. – 2023 – № 11 (66) – С. 10–16.

7. **Джаксыбаева Г.Г.** Генотипирование по полиморфизму митохондриальной ДНК крупного рогатого скота / Г.Г. Джаксыбаева, Н.Н. Кочнев // Сборник статей по материалам ХСІ международной научно-практической конференции «Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке» – 2023 – № 7 (83). – С. 29–38.

8. **Джаксыбаева Г.Г.** Генотипирование по полиморфизму сателлитной ДНК химерных животных / Г.Г. Джаксыбаева, Н.Н. Кочнев // Материалы международной научно-практической конференции Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы прикладной биотехнологии». – 2023 – С. 99–104.

9. **Джаксыбаева Г.Г.** Анализ генофонда случайно амплифицированной полиморфной ДНК / Г.Г. Джаксыбаева, Н.Н. Кочнев, Н.Н. Кайниденов // Сборник статей по материалам LIV международной научно-практической конференции «Advances in Science and Technology». – 2023 – С. 6–8.

10. **Джаксыбаева Г.Г.** Биохимические показатели у коров красной степной породы Павлодарской области Казахстана / Г.Г. Джаксыбаева, Н.Н. Кочнев, О.И. Себежко // Современные проблемы в животноводстве: состояние, решения, перспективы. Сборник статей по материалам II Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию академика В.Г. Рядчикова – 2024 – С. 381–387.

11. Молочная продуктивность коров симментальской породы с различными генотипами по гену каппа-казеина / Т.К. Бексеитов, **Г.Г. Джаксыбаева**, Б. Атейхан [и др.] // Вестник государственного университета им. Шакарима. – 2016. – № 2 (74). – С. 209–212.