

*На правах рукописи*

**НЕДАШКОВСКИЙ Игорь Сергеевич**

**ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ ГОМОЗИГОТНОСТИ ПО STR И SNP-МАРКЕРАМ  
ГОЛШТИНСКИХ БЫКОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ  
СОБСТВЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ И ХОЗЯЙСТВЕННО-ПОЛЕЗНЫЕ  
КАЧЕСТВА ПОТОМСТВА**

Специальность: 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология  
животных

**АВТОРЕФЕРАТ**  
на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Дубровицы – 2023 г.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста» (ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста)

Научный руководитель:

**Сермягин Александр Александрович,**

кандидат сельскохозяйственных наук

Официальные оппоненты:

**Новиков Алексей Алексеевич,**

доктор биологических наук, профессор,

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела»,  
руководитель научного направления

**Кольцов Дмитрий Николаевич,**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,

ОП Смоленский НИИСХ, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр лубяных культур»,  
ведущий научный сотрудник, заместитель директора

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева».

Защита состоится «\_\_\_» ноября 2023 г. в «\_\_\_» часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций 24.1.236.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

Адрес института: 142132, Московская область, Г.о. Подольск, п. Дубровицы, д.60, ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, тел./факс 8 (4967) 65-11-63

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста и на сайте организации [www.vij.ru](http://www.vij.ru), отзывы на автореферат можно отправлять на электронную почту [uch.vniizh@yandex.ru](mailto:uch.vniizh@yandex.ru)

Автореферат разослан «\_\_\_» сентября 2023 года

И.о. ученого секретаря диссертационного  
совета 24.1.236.01,  
кандидат биологических наук

Гладырь Елена Александровна

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Способность генов к стабильности и ограниченным мутациям приобретает вследствие естественного отбора, которому подвержены все живые организмы. Эти гены – наиболее оптимальный вариант для селекции и разведения, поскольку не имеют негативного влияния на репродукцию животных (Кузнецов В.М., 2000). Посредством чистопородного разведения человек поддерживает эту стабильность. На практике это не обходится без инбридинга. В многочисленных работах отечественных и зарубежных авторов отмечается негативное влияние инбридинга, особенно в близкой степени ( $F_x=0,125-0,250$ ), на хозяйственно-полезные признаки крупного рогатого скота. Применение умеренного инбридинга ( $F_x=0,0156-0,0625$ ) на выдающихся предков, наоборот, оказало положительный эффект на продуктивные качества потомства (Vogt D., 1993; Guba S., 1984; Лунева Р.А., 1983; Кравченко Н.А., 1985; Сельцов В.И., 2011; Ерохин А.И., 1994).

Основным методом определения инбредной депрессии на индивидуальном уровне является расчет коэффициента инбридинга ( $F_x$ ), основанный на оценке по родословной (Pemberton J., 2004, 2008). Однако индивидуальный коэффициент инбридинга будет отличаться от действительной пропорции гомозиготных локусов в геноме ( $IBD_G$ ) поскольку  $F_x$  может быть неточным по причине возможного сцепления между локусами и неполной информации в родословной (Keller M.C., 2011; Kardos M., 2015). Использование микросателлитных маркеров (*STR, short tandem repeats*) и однонуклеотидных полиморфизмов (*SNP, single nucleotide polymorphism*) может наиболее точно указывать степень инбридинга у животного, что позволяет в конечном итоге выявить на какие хозяйственно-полезные признаки влияет инбредная депрессия, и свести к минимуму наличие вредных гомозиготных рецессивных аллелей (Szulkin M., 2010). Хотя гомозиготность отдельных аллелей может быть полезной, общая гомозиготность в целом снижает продуктивность из-за нежелательных аллелей, которые находятся в неравновесном сцеплении с каузальными мутациями (Pryce J. E., 2014). Протяженные гомозиготные участки генома (*runs of homozygosity – ROH паттерны*) позволяют проводить оценку уровня геномного инбридинга ( $F_{ROH}$ ) как в популяции (стаде), так и для отдельно взятого животного более эффективно, относительно информации по родословной. Использование полногеномного сканирования обеспечивает оценку истинного уровня инбридинга или вероятности аутозиготности (Howard J. T., 2015, 2017).

### **Степень разработанности темы исследования.**

Расчет коэффициента инбридинга является базисом при ведении селекционно-племенной работы во всем мире. Использование *SNP* маркеров позволяет наиболее точно определить уровень гомозиготности. Анализ, проведенный в США на голштинской породе показывает, что коэффициент инбридинга, рассчитанный с использованием родословных в среднем был равен 0,043, на основе *ROH*-данных – 0,086 (Kim E. S., 2013), аналогичную картину для этой породы отмечали в Италии – соответственно 0,044 и 0,116 (Marras G., 2015). Использование паттернов *ROH* открывает возможности для более эффективной оценки уровня геномного инбридинга как в популяции, так и для конкретного индивидуума, по сравнению с родословными (Сермягин А. А., 2020). Таким образом, расчет гомозиготности и уровня геномного инбридинга на основе информации по *STR* и *SNP* представляется важным направлением современных исследований.

### **Цель и задачи исследования.**

Цель настоящей работы заключалась в характеристике аллелофонда быков голштинской породы по микросателлитным маркерам (*STR, short tandem repeats*) и *SNP* - маркерам и изучении влияния накопления гомозиготности на показатели молочной

продуктивности и фертильности скота голштинской породы Московской области на основе генетической информации быков-производителей, отнесенных к отцовской стороне в родословной потомства, а также поиску и аннотации генов ассоциированных с ними.

Для достижения цели исследования нами были поставлены и решены следующие задачи:

1. Охарактеризовать аллелофонд голштинских быков по *STR* и *SNP* -маркерам.
2. Провести формирование баз данных по родословным, микросателлитным локусам (*STR*) и однонуклеотидным полиморфизмам (*SNP*) быков-производителей голштинской породы, входящим в референтную популяцию молочного скота Московской области.
3. Рассчитать величину инбридинга и гомозиготности быков-производителей, принадлежащих случайной сети региона, с использованием разных методов: по родословной, *STR* и *SNP*-маркерам.
4. Проанализировать показатели собственной продуктивности быков-производителей по качеству спермопродукции в зависимости от уровня накопленного инбридинга и гомозиготности в геноме, доле гомозиготных локусов по *SNP* (вида AA или BB), а также паттернам гомозиготности (*ROH*).
5. Изучить селекционно-генетические параметры показателей молочной продуктивности и фертильности аутбредных и инбредных дочерей изучаемых быков в популяции голштинизированного черно-пестрого и голштинского скота региона на основе данных племенного учета.
6. Оптимизировать уравнение смешанной модели прогноза племенной ценности быков-производителей с учетом разных подходов в расчете коэффициента инбридинга (гомозиготности) по главным селекционным признакам животных в популяции.
7. Провести анализ встречаемости паттернов гомозиготности в исследуемой популяции, включая аннотацию протеин-кодирующих генов, ассоциированных с показателями молочной продуктивности, воспроизводства и экстерьера.

#### **Научная новизна исследования.**

Впервые в России рассчитан уровень геномного инбридинга крупного рогатого скота голштинской породы с помощью генетических маркеров и проведено его сравнение с традиционным расчетом коэффициента инбридинга на основе родословной. Исследовано влияние уровня накопления и динамики показателя инбридинга в стадах, рассчитанного по генетическим маркерам (*STR* и *SNP*) на хозяйственно-полезные признаки собственной продуктивности быков-производителей голштинской породы, а также качество их потомства.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Изучены хозяйственно-полезные признаки быков-производителей и их потомков с учетом уровня инбридинга или гомозиготности по *STR* и *SNP* маркерам. Разработано уравнение прогноза племенной ценности быков и коров с учетом показателей инбридинга для внедрения в селекционный процесс улучшения голштинского скота Подмосковья. Полученные подходы в области расчета коэффициента геномного инбридинга позволяют заключить о большей точности, и, следовательно, эффективности последних относительно информации по родословной. Полученные данные позволяют оптимизировать план подбора родительских пар в племенных стадах для минимизации влияния инбредной депрессии.

#### **Методология и методы исследования.**

Методологической основой для проводимой работы явились опыт предыдущих исследований и научные положения ученых в области молекулярной генетики,

разведения, селекции и биотехнологии сельскохозяйственных животных. При выполнении диссертационной работы использовались общепринятые молекулярно-генетические и биотехнологические методы исследований, лабораторная часть исследований была выполнена с использованием современного оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Полученные популяционные данные были обработаны статистическими методами анализа.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

- селекционно-генетические параметры показателей молочной продуктивности и фертильности аутбредных и инбредных дочерей быков, оцененных по величине гомозиготности с помощью *STR* и *SNP*-маркеров, показали, что по мере нарастания инбридинга в стадах скота голштинской породы наблюдается снижение функции воспроизводства коров, тогда как для индивидуальных значений быков данный показатель позволяет с большей точностью получать прогнозируемую оценку племенной ценности;
- использование смешанной модели уравнения прогноза племенной ценности быков-производителей с учетом коэффициента инбридинга (гомозиготности) позволяет с большей вероятностью оценить влияние генотипа на показатели собственной продуктивности и хозяйственно-полезные качества потомства;
- анализ встречаемости паттернов гомозиготности в геноме на основе *SNP* показывает оценку геномного инбридинга, которая наиболее полно отражает уровень гомозиготности особи, в сравнении с его родословной и собственным *STR* профилем; распределение *RON* на хромосомах крупного рогатого скота рекомендуется использовать для поиска каузальных (причинных) протеин-кодирующих генов, ассоциированных с показателями хозяйственно-полезных качеств животных.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность полученных результатов подтверждена биометрической обработкой данных результатов исследований с оценкой степени статистической значимости выявленных различий. Результаты работы доложены и получили положительные оценки на следующих научных конференциях:

- Международная научно-практическая конференция: «Управление устойчивым развитием сельских территорий региона», 11-12 апреля 2018 г., г. Смоленск, ФГБОУ ВО «Смоленская ГСХА»;
- XXV Международная научная конференция «Ломоносов», 9-13 апреля 2018 г., г. Москва, МГУ;
- Международная научно-практическая конференция: «Современное состояние и перспективы совершенствования симментальской породы», 8-11 октября 2018 г., ВИЖ;
- Ежегодная научная конференция Американского общества наук о животных (ASAS), Канада, г. Ванкувер, 2018 г.;
- XXV Международная научно-практическая конференция: «Повышение конкурентоспособности животноводства и задачи кадрового обеспечения», 25 июня 2019 г., п. Быково, РАМЖ;
- Международная научно-практическая конференция, посвященная 90-летию ВИЖа «Научное обеспечение развития животноводства в Российской Федерации», 23-25 сентября 2019 г., ВИЖ;

- Научно-практическая конференция с международным участием «Аграрная наука на современном этапе: состояние, проблемы, перспективы», 21-25 февраля 2022 г., г. Вологда, пос. Молочное, СЗНИИМЛПХ - обособленное подразделение ВолНЦ РАН;
- Международная научно-практическая конференция «От модернизации к опережающему развитию: обеспечение конкурентоспособности и научного лидерства АПК», на секции: «Генетика и биотехнология для развития АПК», 24-25 марта 2022 г., в г. Екатеринбурге на базе ФГБОУ ВО «Уральский ГАУ»;
- VII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов-регионам», 21 апреля 2022 г., г. Вологда, на базе ФГБОУ ВО «Вологодская ГМХА имени Н.В. Верещагина»;
- XIII Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция «Перспективы эффективного развития племенного животноводства и кормопроизводства в Российской Федерации», 17-18 мая 2022 г., г. Тверь, на базе ФГБОУ ВО «Тверская ГСХА»;
- Международная научно-практическая конференция «Инновационное развитие продуктивного животноводства», 26-27 мая 2022 г., г. Брянск, ФГБОУ ВО «Брянский ГАУ».

#### **Публикации результатов исследований.**

По материалам диссертационной работы опубликовано 13 работ, в том числе 1 – в журнале из списка *Web of Science*, 3 – в журналах, рекомендованных ВАК РФ, имеющих шифр искомой специальности, 2 – в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 2 – в других журналах, 5 – в сборниках трудов конференций.

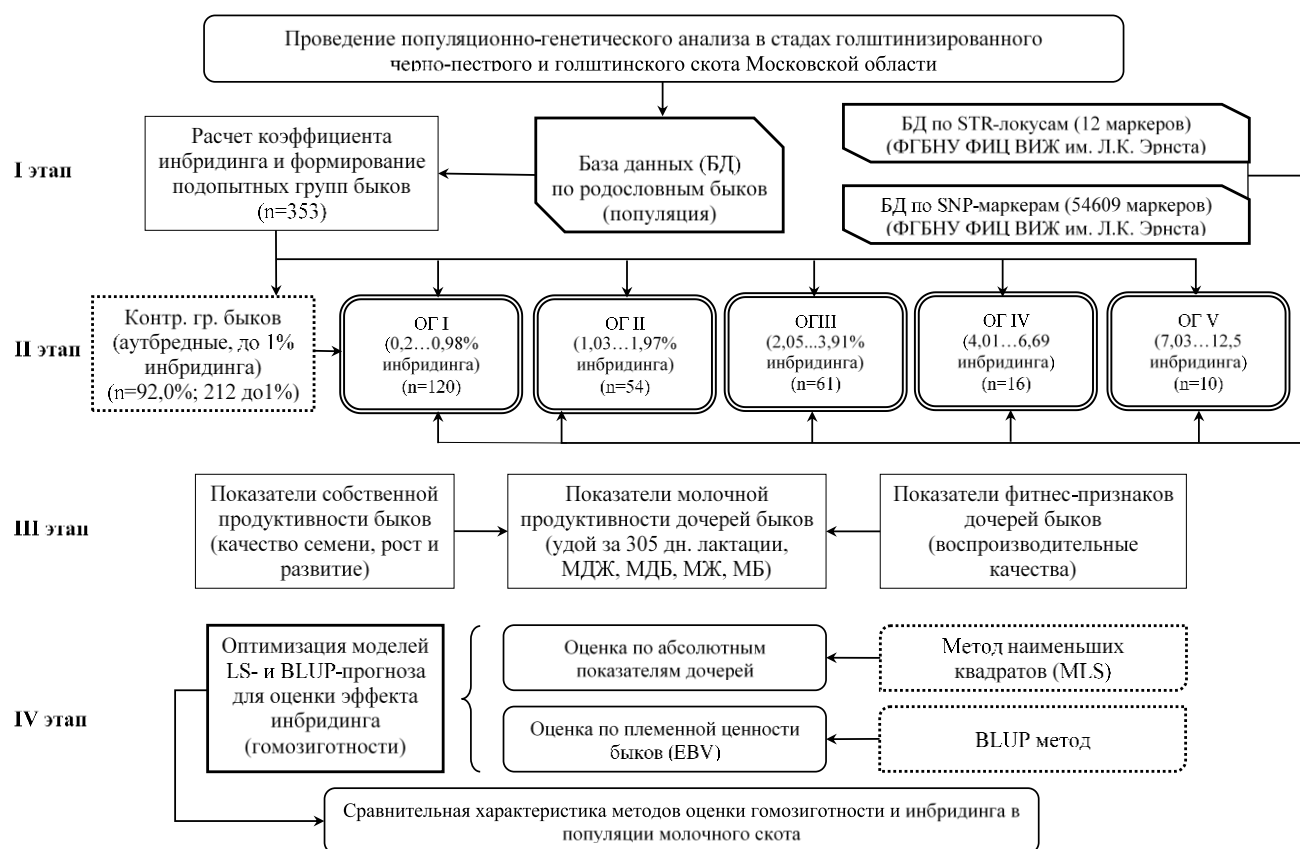
#### **Структура и объем диссертации.**

Материалы диссертации изложены на 199 страницах компьютерного текста с приложениями. Диссертация включает следующие разделы - введение, обзор литературы, собственные исследования, куда входят материалы и методы исследований, результаты исследований, их обобщение и заключение, включающее выводы, практические предложения, перспективы дальнейшей разработки темы, список литературы и 3 приложения. Работа иллюстрирована 42 таблицами и 16 рисунками. Список литературы включает в себя 268 источников, в том числе 194 на иностранном языке.

## **2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **2.1. Материалы и методика исследований**

Работа выполнялась в отделе популяционной генетики и генетических основ разведения животных и лаборатории молекулярных основ селекции ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, с 2016 по 2022 гг., согласно схеме исследований, представленной на [рисунке 1](#). Объектом исследования являлись голштинские быки-производители, имеющие *STR* – профили и прошедшие процедуру генотипирования по *SNP* – маркерам. Предметом исследования являлся уровень гомозиготности и его влияние на показатели собственной продуктивности и хозяйственно-полезные качества потомства исследуемых быков-производителей, количество которых составило 374 голов, принадлежащие популяции голштинского скота Московской области. Для оценки селекционно-генетических параметров было учтено подконтрольное племенное маточное поголовье – 104195 коров из 70 стад. Для оценки общего фона влияния накопления инбридинга в популяции на основные селекционно-генетические параметры было учтено все маточное поголовье - 296329 дочерей от 4656 быков-отцов разводимых на территории Московской области.



**Рисунок 1** – Схема исследований

В ходе исследований были сформированы базы хозяйственно-полезных признаков дочерей быков-производителей. При создании баз данных были учтены такие показатели как: возраст первого отела (ВПО, мес.), продолжительность сервис-периода (СП, дн.) и межотельного периода (МОП, дн.), удой за 305 дней лактации (У305, кг), массовая доля жира в молоке (МДЖ, %), выход молочного жира (МЖ, кг), массовая доля белка в молоке (МДБ, %), выход молочного белка (МБ, кг), количество дойных дней (ДД, дн.), количество осеменений, требующихся для получения стельности (КО), живая масса животного (ЖМ, кг), трудность отела (ТО, балл), оценка количества соматических клеток (SCS, балл), кровность по улучшающей породе. Были использованы показатели по не менее чем 5 лактациям.

Для всех выборок произведен расчёт влияния организованных групп факторов *HYS* (*стадо-год-сезон, herd-year-season*) и *Sire* (*фактор быка-производителя*) на исследуемые показатели продуктивности и воспроизводства, в среде языка программирования R.

Для анализа связи показателей собственной продуктивности быков-производителей (n=260 гол.) по качеству семени и уровня инбридинга была сформирована база данных, содержащая показатели: среднего объема эякулята в мл, числа сперматозоидов в среднем объеме эякулята в млрд шт., концентрации в млрд./мл, и активности сперматозоидов в баллах. Коэффициент инбридинга определяли с помощью анализа родословных с учетом 4 поколений предков по общепринятому методу расчета согласно формуле Райта-Кисловского (Ерохин А. И., 1985).

Выделение геномной ДНК проводили из семени быков-производителей с помощью колонок Nexttec (Nexttec Biotechnologie GmbH, Германия) в соответствии с рекомендациями производителя. В качестве ДНК маркеров использовалась мультиплексная панель из 9 микросателлитных локусов: *TGLA227*, *BM2113*, *ETH10*, *SPS115*, *TGLA122*, *INRA23*, *BM1818*, *ETH225*, *BM1824*, рекомендованных ФАО ООН и

ISAG. Статистическую обработку данных проводили с помощью программы GenAIEх 6.50 (Peakall R., Smouse P.E., 2012). Непосредственный расчет индивидуальной гомозиготности проводили как отношение количества гомозиготных локусов особи к их общему количеству.

*SNP* генотипирование проводили с помощью биочипа средней плотности Illumina Bovine 50K Beadchip («Illumina Incorporated», США) включающего в себя 54609 *SNP* маркер. Для получения надежных результатов был проведен контроль качества *SNP*: отбирались только маркеры, локализованные на аутосомах, генотипированные не менее чем у 90% особей, и с частотой минорных аллелей не менее 1%. После проведения контроля качества было отобрано 42797 *SNP*. Размер паттернов гомозиготности (*ROH*) у быков-производителей определяли с помощью пакета sgaТОН (Zhang L., 2013). Дифференциацию *ROH* проводили согласно длине в Мб в связи с давностью возникновения демографического события в популяции молочного скота на группы: [1;2], (2;4], (4;8], (8;16] и >16 Мб (Ferenčakovic M., 2013). Значения генетических коварианс и вариантов основных признаков молочной продуктивности и воспроизводительных качеств получены на основе применения уравнения смешанной модели с использованием программной оболочки RENUMF90, BLUPF90 (Misztal I., 2002; Misztal I., 2014).

Аннотацию генов, входящих в выявленные гомозиготные районы, осуществляли по сборке генома крупного рогатого скота *Bos\_taurus\_UMD\_3.1.1* в базе данных NCBI (National Center for Biotechnological Information) (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/ly/>). Для поиска QTL и регионов под давлением отбора на хромосомах, имеющих сопряженность с функциональными характеристиками животных, использовали базу данных «CattleQTLdb» (Hu Z.-L., 2019).

Для биометрической обработки использовали пакет MS Excel 2013, для описательной статистики, дисперсионного и регрессионного анализов — программу STATISTICA 10 (StatSoft). Достоверность разности между средними значениями определяли по критерию Стьюдента (Кузнецов В. М., 2006).

## 2.2. Результаты и обсуждение результатов исследований

### 2.2.1. Характеристика аллелофонда голштинских быков-производителей по STR и SNP-маркерам

Проведенный анализ показал, что быки голштинской породы черно-пестрой масти (Ч/п гол.) имеют некоторую обособленность относительно голштинских производителей красно-пестрой масти (К/п гол.) и особей черно-пестрой породы (Ч/п), но для детального рассмотрения произведен расчёт с использованием основных наукометрических показателей по наиболее важным генетико-популяционным характеристикам (табл. 1).

**Таблица 1** – Генетико-популяционные характеристики быков-производителей родственного корня по 9 локусам микросателлитов ДНК

Порода	n	$N_{A \geq 5}$	$N_E$	$H_o$	$H_E$	$F_{IS}$	$N_A$
Ч/п гол.	427	5,111±0,455	4,079±0,464	0,725±0,027	0,729±0,030	0,006	9,111±0,935
К/п гол.	34	4,667±0,471	3,770±0,447	0,708±0,043	0,701±0,039	-0,009	6,333±0,882
Ч/п	11	4,333±0,500	3,433±0,366	0,705±0,062	0,677±0,042	-0,041	5,111±0,351

$N_E$  - число эффективных аллелей;  $N_{A \geq 5}$  - число информативных аллелей;  $N_A$  - среднее число аллелей на локус,  $H_o$  - степень гомозиготности наблюдаемая,  $H_E$  - степень гомозиготности ожидаемая,  $F_{IS}$  - индекс фиксации

В таблице 2 представлены попарные сравнения генетических дистанций  $N_{Eij}$  и значений  $F_{ST}$ , которые характеризуют степень дифференциации между исследуемыми субпопуляциями. Классификация, согласно генетической дифференциации показала, что



все значения индекса фиксации, имели незначительную (0,012-0,027) дифференциацию или слабую по классификации Райта.

Таблица 2 – Характеристика аллелофонда и генетического разнообразия быков-производителей исследуемых пород

Порода	Голштинская черно-пестрой (ЧП) масти	Черно-пестрая	Голштинская красно-пестрой (КП) масти
Голштинская ЧП	-	0,025	0,012
Черно-пестрая	0,119	-	0,027
Голштинская КП	0,054	0,098	-

Над диагональю указаны значения индекса  $F_{st}$ , под диагональю генетические дистанции Нея ( $D_N$ , Nei distance)

Для визуализации дифференциации исследуемой популяции, был проведен *PCoA* (*principal coordinates analysis*) анализ в пространстве двух главных координат на основании субпопуляционного и индивидуального индекса фиксации быков-производителей. Результат анализа представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Популяционно-генетическая характеристика пространственного положения исследуемых быков-производителей посредством *PCoA*-анализа в пространстве двух главных координат на основании индивидуального (А) и субпопуляционного (Б) индекса фиксации ( $F_{is}$  и  $F_{st}$ ) при попарном сравнении.

Установлено, что наибольшей степенью генетической удаленности, а, следовательно, дифференцируемостью, характеризовалась голштинская красно-пестрая порода от группы черно-пестрой породы крупного рогатого скота ( $F_{st}=0,027$ ). Полученные данные показывают формирование общего филогенетического кластера и отсутствие как таковой межпородной дивергенции.

В таблице 3 даны средние значения уровня геномного инбридинга по группам с учетом года рождения, страны происхождения, генеалогической линии и породной принадлежности. В ходе исследования средних значений  $F_{ROH}$  (*inbreeding coefficient determined ROH*) с учетом года рождения быков-производителей было установлено достоверное ( $p<0,001$ ;  $p<0,01$ ) различие двух последних групп (2008-2011; 2012-2014) от всех остальных при попарном сравнении. По всей видимости, это объясняется уровнем ведения селекционной работы по принципу разведения «в себе» с ограниченным числом улучшателей по признакам продуктивности и воспроизводства. Результат расчета  $F_{ROH}$  по стране происхождения указывает на статистически ( $p<0,001$ ) значимую дифференциацию группы животных из Российской Федерации от животных, рожденных в Германии и Канаде (немецкого и канадского корня). На наш взгляд, это связано с особенностями системы генетической оценки животных и ведением племенной работы в стране-происхождения. Тем не менее, российская популяция скота черно-пестрого корня, на которой в настоящий момент основывается голштинская порода отечественной селекции, несет в своем генотипе ценные отличительные свойства. Невысокий уровень геномного

инбридинга и небольшое количество животных в выборках по генеалогическим линиям Силинг Трайджун Рокит 252803, Пабст Говернер 882933 и Монтвик Чифтейн 95679 связан с их «непопулярностью», особенно в последние годы для использования в программах разведения молочного скота России. Достоверное ( $p < 0,001$ ) отличие наибольшего по выборкам уровня  $F_{ROH}$  в голштинской черно-пестрой породе от красно-пестрой голштинской и черно-пестрой пород обусловлено интенсивным использованием и тотальной голштинизацией, что так же характерно для исследуемой популяции.

**Таблица 3** – Характеристика аллелофонда исследуемой популяции по *STR* и *SNP* маркерам

Группа	n	$F_{ROH}$	Ca12	Ca9	Fx
год рождения быка-производителя					
I) 1983-1997	20	0,064±0,008	0,254±0,034	0,316±0,040	2,048±0,643
II) 1999-2003	71	0,069±0,004	0,214±0,015	0,302±0,017	1,462±0,191
III) 2004-2008	135	0,069±0,003	0,228±0,010	0,311±0,013	1,271±0,142
IV) 2009-2011	72	0,087±0,004 <sup>*/**/**</sup>	0,251±0,012	0,299±0,016	1,409±0,220
V) 2012-2014	55	0,092±0,004 <sup>**/**/**</sup>	0,259±0,018	0,283±0,018	1,264±0,214
страна					
I) РФ	51	0,059±0,005	0,199±0,017	0,346±0,019	1,189±0,270
II) Нидерланды	26	0,061±0,005	0,218±0,019	0,316±0,032	0,766±0,204
III) Дания	21	0,068±0,007	0,190±0,019	0,291±0,020 <sup>*</sup>	1,215±0,291
IV) Германия	150	0,076±0,002 <sup>*/**</sup>	0,251±0,010 <sup>*/н.д./*</sup>	0,296±0,012 <sup>*</sup>	1,515±0,145 <sup>н.д./*</sup>
V) Канада	105	0,089±0,003 <sup>**/**/**</sup>	0,248±0,011 <sup>*/н.д./*</sup>	0,290±0,014 <sup>*</sup>	1,468±0,181 <sup>н.д./*</sup>
генеалогическая линия					
I) Силинг Трайджун Рокит 252803	4	0,057±0,019	0,250±0,034	0,389±0,071	1,122±0,997
II) Пабст Говернер 882933	8	0,064±0,008	0,198±0,027	0,333±0,020	0,415±0,203
III) Монтвик Чифтейн 95679	40	0,068±0,005	0,248±0,020	0,339±0,023	1,389±0,256 <sup>н.д./*</sup>
IV) Вис Бэк Айдиал 1013415	183	0,076±0,002	0,234±0,009	0,299±0,010	1,477±0,142 <sup>н.д./*</sup>
V) Рефлексн Соверинг 198998	118	0,080±0,003 <sup>н.д./*</sup>	0,238±0,011	0,290±0,013	1,303±0,147 <sup>н.д./*</sup>
порода					
I) Черно-пестрая	7	0,041±0,005	0,155±0,042	0,365±0,047	0,391±0,166
II) Красно-пестрая голштинская	13	0,055±0,006	0,243±0,017	0,385±0,030	1,388±0,577
III) Черно-пестрая голштинская	333	0,078±0,002 <sup>**/**/**</sup>	0,238±0,007	0,298±0,008 <sup>н.д./*</sup>	1,401±0,097 <sup>**</sup>

Для процентного выражения показателя  $F_{ROH}$  и  $Ca$  умножить на 100%;  $*p < 0,05$ ;  $**p < 0,01$ ;  $***p < 0,001$ ; н.д.-недостаточно;  $F_{ROH}$  – коэффициент геномного инбридинга;  $Ca$  – уровень гомозиготности по *STR* для 12 ( $Ca12$ ) и 9 ( $Ca9$ ) *STR* маркеров здесь и далее

Анализ данных **таблицы 4** показывает, что с возрастанием коэффициента инбридинга, основанного на родословной, от 0% в первой до 7,03-12,50% в VII группе, параллельно увеличивается уровень геномного инбридинга, рассчитанного на основе информации по *SNP*-маркерам (0,061-0,12).

Так, группы  $F_{ROH}$  - I, II и III имеют достоверные ( $p < 0,001$ ) отличия от групп V, VI и VII. Коэффициент регрессии по  $F_{ROH}$  ( $R=0,009$ ) отражает не только основную положительную направленность (зависимость) тренда, но и является достоверно значимым. Информация по микросателлитным локусам демонстрирует схожие закономерности в случае с использованием 12 маркеров *STR*, где третья группа ( $Ca=21,7\%$ ) имеет достоверные различия ( $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$ ) от V, VI и VII групп с уровнем гомозиготности от 25,8% до 35,0%. Коэффициент регрессии в данном расчете, так же положителен ( $R=0,014$ ) и достоверно значим. Результаты по 9 *STR* фиксируют волнообразное увеличение гомозиготности от I до IV группы ( $Fx=0,00-1,97\%$ ) с 30,5% до

29,2% для Ca9, с последующим возрастанием, начиная с V и до VII группы включительно ( $F_x=7,03-12,5\%$ ) с 30,4% до 36,7% для Ca9.

**Таблица 4** – Оценка уровня инбридинга по родословной и геномным данным, гомозиготности для популяции быков-производителей черно-пестрой и голштинской пород

Коэффициент инбридинга ( $F_x$ )	n	$F_x$	$F_{ROH}$	Ca12	Ca9
I) 0,00	92	0,000±0,000	0,061±0,003	0,234±0,012	0,305±0,014
II) 0,00-0,98	212	0,306±0,022	0,066±0,002	0,224±0,008	0,300±0,010
III) 0,20-0,98	120	0,054±0,023*	0,069±0,002	0,217±0,011	0,296±0,014
IV) 1,03-1,97	54	1,600±0,035****	0,072±0,004*	0,227±0,017	0,292±0,020
V) 2,05-3,91	61	2,963±0,080****	0,100±0,003****	0,258±0,015 <sup>н.д</sup> *	0,304±0,018
VI) 4,01-6,69	16	4,769±0,221****	0,109±0,008****	0,281±0,027 <sup>н.д</sup> *	0,326±0,031
VII) 7,03-12,50	10	7,918±0,526****	0,120±0,013****	0,350±0,043 <sup>*/**/*</sup>	0,367±0,055
R	353	-	0,009	0,014	0,006

Для процентного выражения показателя  $F_{ROH}$  и Ca умножить на 100%; R - коэффициент регрессии (regression coefficient); / \* - достоверное различие между показателями II и III, II и IV, II и V, II и VI, II и VII групп; / \* / \* - достоверное различие между показателями III и IV, III и V, III и VI, III и VII групп; / \* / \* / \* - достоверное различие между показателями IV и V, IV и VI, IV и VII групп; / \* / \* / \* / \* - достоверное различие между показателями V и VI, V и VII групп.

## 2.2.2. Изучение фенотипических и генетических корреляции между биологическими и хозяйственными признаками

Нами проведен анализ корреляций между хозяйственно-полезными признаками продуктивности и фертильности дочерей исследуемых быков-производителей. Исследуемая выборка составила 80849 дочерей 228 быков-производителей.

Расчёт фенотипических и генетических корреляций произведен в [таблице 5](#). Сильная положительная корреляции наблюдалась между показателями удоя за 305 дней лактации и выходом молочного жира 0,915 и белка молока 0,963. Выявлена умеренная положительная корреляция между массовой долей жира и выходом молочного жира 0,408 и массовой долей белка и выходом белка молока 0,257, и слабая корреляция между удоем за 305 дней лактации и массовой долей жира и белка молока 0,016 и -0,005 соответственно.

**Таблица 5** – Генетические и фенотипические корреляции по основным признакам молочной продуктивности и воспроизводительных качеств и коэффициент наследуемости

Показатель	СП	ДД	У305	МДЖ	МЖ	МБД	МБ	ЖМ
СП	<b>0,035</b>	0,977	0,405	-0,292	0,276	-0,293	0,359	0,217
ДД	0,874	<b>0,032</b>	0,464	-0,282	0,339	-0,313	0,418	0,227
У305	0,123	0,166	<b>0,153</b>	-0,176	0,913	-0,428	0,967	0,420
МДЖ	-0,005	-0,001	0,016	<b>0,170</b>	0,239	0,358	-0,088	0,019
МЖ	0,110	0,151	0,915	0,408	<b>0,141</b>	-0,275	0,917	0,411
МБД	0,039	0,048	-0,005	0,241	0,084	<b>0,143</b>	-0,186	-0,094
МБ	0,128	0,172	0,963	0,074	0,905	0,257	<b>0,130</b>	0,428
ЖМ	0,011	0,009	0,272	0,084	0,274	0,058	0,276	<b>0,103</b>

Над диагональю даны генетические корреляции, под диагональю фенотипические, диагональ-коэффициент наследуемости; У305 – оценка племенной ценности по удою за 305 дн. лактации, МДЖ и МБД – оценка племенной ценности по массовой доле жира и белка в молоке, МЖ и МБ – оценка племенной ценности по количеству молочного жира и белка молока; ЖМ – живая масса животного; СП и ДД – оценка племенной ценности по продолжительности сервис-периода и лактации.

Корреляция между массовой долей жира и массовой долей белка молока составила 0,241. Наблюдалась сильная (0,874), объективно понятная, зависимость между продолжительностью сервис периода и количеством дойных дней, а также, между выходом молочного жира и белка молока (0,905). Отмечена положительная корреляция между удоем и живой массой (0,272). Остальные корреляции имели зависимость на уровне 0,011-0,274.

Анализ генетических корреляций в целом уточняет расчёты по фенотипу, в части взаимосвязи между количеством дойных дней и сервис периодом (0,977), удоем за 305 дней и выходом жира и белка молока 0,913 и 0,967, соответственно. Отрицательная корреляция между удоем и массовой долей белка -0,428 и жира -0,176 отражает действительную зависимость по генетической информации нивелируя заложенные в уравнение модели прогноза племенной ценности факторы стада-год-сезон отела, возраст первого отела и фактор быка-производителя.

Коэффициенты наследуемости по основным хозяйственно-полезным признакам молочной продуктивности имели умеренную величину по: удою за 305 дней лактации  $h^2=0,153$ , массовой доле белка  $h^2=0,143$  и жира  $h^2=0,17$ , а также их количеству соответственно  $h^2=0,130$  и  $h^2=0,141$ . Генетическая изменчивость по живой массе составила  $h^2=0,103$ , количеству дойных дней  $h^2=0,032$ , продолжительности сервис периода  $h^2=0,035$ .

### 2.2.3. Влияние уровня инбридинга на прогноз племенной ценности быков-производителей и коров

Согласно методологии BLUP использовано разработанное в процессе выполнения работы уравнение смешанной модели в исследуемой популяции скота для получения оценок племенной ценности (*estimated breeding value, EBV*) животных:

$$Y_{ijk} = \mu + HYS_i + \sum_k b_1 A_k + \sum_k b_2 DO_k + F_{x(Ca, ROH)} + Sire_j + e_{ijk}$$

где:  $Y_{ijk}$  – оцениваемый показатель  $k$ -ого животного;  $\mu$  – популяционная константа;  $HYS_i$  – фиксированный эффект  $i$ -го «стада-года-сезона» отела ( $i=1, \dots, n$ , факторов);  $b_{1,2}$  – коэффициенты линейной регрессии;  $A_k$  – возраст первого отела  $k$ -ой первотелки, дочери оцениваемого быка (коварианса);  $DO_k$  – продолжительность сервис-периода  $k$ -ой первотелки (коварианса);  $F_{x(Ca, ROH)}$  – фиксированный эффект коэффициента инбридинга по родословной (гомозиготности по STR, геномного инбридинга по SNP);  $Sire_j$  – рандомизированный эффект  $j$ -го быка-производителя, имеющий нормальное распределение с дисперсией равной  $A\sigma_a^2$ , где  $A$  – аддитивная матрица родства ( $j=1, \dots, n$ , гол.);  $e_{ijk}$  – эффект неучтенных факторов ( $0, \sigma_e^2$ ).

В таблице 6 был проведен анализ динамики оценки племенной ценности быков во взаимосвязи с уровнем инбридинга, рассчитанного по данным родословных с учётом четырёх рядов предков.

Таблица 6 – Взаимосвязь оценки племенной ценности быков-производителей (*EBV*) по признакам молочной продуктивности и уровня инбридинга в расчёте по Райту-Кисловскому ( $n=196$ )

Градация $F_x$	У305	МДЖ	МЖ	МДБ	МБ	КО	СП	ДД	SCS
0 ( $n=46$ )	41,02	-0,001	1,643	-0,00027	1,27	-0,006	-0,85	-0,85	0,03
0,2-0,98 ( $n=66$ )	120,69	-0,029	3,287	-0,024	2,24	0,03	2,83	2,88	0,02
1,17-2,78 ( $n=50$ )	161,42	-0,009	5,86	-0,026	3,4	0,03	3,65	2,73	-0,007
3,13-4,79 ( $n=27$ )	260,73	-0,05	7,72	-0,032	6,15	0,02	7,96	6,63	-0,056
5,08-12,5 ( $n=7$ )	192,37	0,021	9,23	-0,035	3,6	0,05	10,29	5,86	-0,071

Результаты анализа взаимосвязи *EBV* с  $F_x$  наглядно демонстрируют, что по мере увеличения коэффициента инбридинга, относительно аутбредных быков-производителей и имеющих относительно невысокую инбредность 0,2-4,79% наблюдается увеличение

удоя на 161,42-260,73 кг, молочного жира и белка на 5,86-7,72 кг, 3,40-6,15 кг, соответственно. Высокие коэффициенты  $F_x$  в группе 5, хоть и показывают прирост в продуктивности относительно аутбредных особей, но также начинает проявляться тенденция на снижение продуктивности по сравнению с результатами оценок при умеренном  $F_x$  (3,13-4,76%). Дальнейшие прогнозы должны строиться индивидуально для каждой популяции, с критическим подходом при подборе животных и нивелированием возможного проявления негативных последствий. По мере увеличения коэффициента инбридинга, наблюдалось увеличение количества осеменений, необходимых для достижения стельности, на 0,05 ед., сервис периода на 10,29 дн., и дойных дней на 6,63-5,86 дн. Величина  $EBV$  по числу соматических клеток снижалась на -0,056...-0,071 балла.

В [таблицах 7 и 8](#) приведены результаты анализа для оценок племенной ценности (генетических данных) по основным показателям хозяйственно-полезных качеств животных в зависимости от уровня гомозиготности, рассчитанного по  $STR$ - маркерам.

[Таблица 7](#) - Оценка племенной ценности в среднем по популяции при разном уровне гомозиготности (n=228)

Уровень гомозиготности	Оценка племенной ценности быков-производителей (EBV)							
	У305	МДЖ	МЖ	МДБ	МБ	ДД	СП	ЖМ
1. (n=45) 0,0-0,1	36,3	-0,012	0,5	-0,003	0,9	1,9	1,2	-1,9
2. (n=53) 0,2	92,8	0,000	3,6	-0,007	2,5	0,6	0,6	1,2
3. (n=65) 0,3	-74,4	-0,012	-3,6	-0,002	-2,5	-0,6	-0,1	0,5
4. (n=46) 0,4	-48,4	0,004	-1,5	0,009	-1,0	-1,2	-0,6	-0,7
5. (n=19) 0,5-0,7	26,7	0,057	4,8	0,009	1,7	-1,1	-2,6	1,3

Увеличение удоя в группах с высоким уровнем гомозиготности опосредованно связано с направленной селекционной работой по этим признакам продуктивности, сужением генеалогической структуры, а также преимущественным формированием родительских пар животных из лидеров популяции. Быки-производители в 5 группе были представлены голштинской породой 2001-2007 годов рождения, страной происхождения которых являлась Германия ([табл. 7](#)). Неоднородный характер наблюдаемой зависимости является комплексным и объясняется наложением ряда факторов: генетической группы животного (года рождения быка), страны происхождения, структуры селекционной программы в зависимости от популяционной принадлежности.

Величина гомозиготности отражает однородность по происхождению на популяционном уровне. Выбор селекционных критериев, которые являются постоянными в работе с рядом поколений предков и далее потомков и в наибольшей мере отражают экономическую целесообразность в разведении животных, также влияет на формирование идентичной по состоянию популяции.

[Таблица 8](#) - Влияние накопления уровня гомозиготности по  $STR$ -маркерам на оценку племенной ценности быков-производителей

Уровень гомозиготности, %	Оценка племенной ценности быков-производителей (EBV)							
	У305, кг	МДЖ, %	МЖ, кг	МДБ, %	МБ, кг	ДД, дн.	СП, дн.	ЖМ, кг
1	-2,5	0,001	-0,03	0,000	-0,1	-0,1	-0,1	0,0
11	-27,3	0,010	-0,3	0,003	-0,6	-0,8	-0,7	0,3
22	-54,6	0,020	-0,7	0,007	-1,1	-1,5	-1,3	0,6
33	-81,8	0,030	-1,0	0,010	-1,7	-2,3	-2,0	0,9
44	-109,1	0,040	-1,3	0,013	-2,2	-3,1	-2,6	1,1
77	-191,0	0,070	-2,3	0,023	-3,9	-5,4	-4,6	2,0

Регрессионным анализом установлено, что увеличение на 10% степени гомозиготности связано с уменьшением генетических показателей удоя на -25 кг за 305 дней лактации, снижением выхода количества молочного жира и белка по *EBV*, на -0,3 кг. Вместе с этим продолжительность сервис-периода и число дойных дней сокращаются на 1 день. Был проведен расчет связи оценки племенной ценности быков-производителей по признакам молочной продуктивности и уровню геномного инбридинга  $F_{ROH}$  (табл. 9).

**Таблица 9** – Связь оценки племенной ценности быков-производителей (*EBV*) по признакам молочной продуктивности с уровнем геномного инбридинга ( $F_{ROH}$ )

Уровень $F_{ROH}$	У305, кг	МДЖ, %	МЖ, кг	МДБ, %	МБ, кг
1) <0,041 (n=59)	84±42	-0,013±0,016	2,8±1,7	-0,018±0,006	1,5±1,2
2) 0,042-0,075 (n=146)	108±27	-0,024±0,008	3,0±1,1	-0,022±0,003	2,0±0,8
3) 0,076-0,108 (n=103)	222±29***	-0,038±0,009	6,8±1,2 <sup>нд*</sup>	-0,028±0,004	5,1±0,8 <sup>*/*</sup>
4) ≥ 0,109 (n=66)	228±31 <sup>*/**/нд</sup>	-0,023±0,009	7,9±1,1 <sup>*/**/нд</sup>	-0,035±0,004 <sup>*/*/нд</sup>	5,0±0,9 <sup>*/*/нд</sup>

В таблице 9 представлены результаты анализа, свидетельствующего о том, что по мере роста уровня геномного инбридинга удои за 305 дн. лактации увеличивается, относительно аутбредных быков и производителей с невысоким уровнем  $F_{ROH}$  (<0,041), на 222-228 кг молока, молочного жира – на 6,8-7,9 кг, молочного белка – на 5,1 кг.

Был проведен расчет связи оценки племенной ценности быков-производителей по хозяйственно-полезным признакам и уровню геномного инбридинга  $F_{ROH}$  (табл. 10).

**Таблица 10** – Связь оценки племенной ценности быков-производителей (*EBV*) по хозяйственно-полезным признакам с уровнем геномного инбридинга ( $F_{ROH}$ )

Уровень $F_{ROH}$	$F_{ROH}$ , %*	КО, ед.	СП, дн.	ДД, дн.	SCS
1) <0,041 (n=59)	2,86±0,11	0,002±0,011	0,3±1,5	0,3±1,3	-0,002±0,015
2) 0,042-0,075 (n=146)	6,00±0,08***	0,022±0,007	1,9±0,8	1,7±0,6	0,060±0,001
3) 0,076-0,108 (n=103)	8,88±0,09 <sup>*/**/*</sup>	0,017±0,010	4,0±0,8 <sup>*/*</sup>	3,4±0,6 <sup>*/нд</sup>	-0,030±0,015 <sup>нд*/</sup>
4) ≥ 0,109 (n=66)	12,86±0,22 <sup>*/**/*/*</sup>	0,031±0,009 <sup>*/нд/нд</sup>	5,5±1,1 <sup>*/**/нд</sup>	4,2±0,8 <sup>*/*/нд</sup>	-0,034±0,008 <sup>нд/***/нд</sup>

По мере увеличения коэффициента геномного инбридинга наблюдалась отрицательная динамика количества осеменений, необходимых для достижения стельности, которое возрастало на 0,031 ед., одновременно продолжительность сервис периода увеличилась на 5,5 дн. При этом количество дойных дней возрастало на 4,2 дн. Величины *EBV* по числу SCS снижались на -0,030...-0,034 балла.

## 2.2.4. Влияние уровня гомозиготности на показатели собственной продуктивности быков-производителей и хозяйственно-полезные качества потомства

### 2.2.4.1. Анализ хозяйственно-полезных признаков дочерей инбредных и аутбредных быков-производителей с учетом уровня инбридинга

Кроссирование линий в поколениях привело к возникновению стихийного инбридинга до уровня 1,00%-6,25%, при доле животных в изученной популяции с данными пороговыми лимитами – 20,2%. Т.е. примерно пятая часть выборки животных имеет повышенную вероятность возникновения инбредной депрессии. Организованная группа факторов: «стадо», «год» и «сезон» отела имела значимое влияние на показатели молочной продуктивности ( $F=117,19-2425,70$ ;  $p<0,05...0,001$ ) и, в меньшей степени, фертильности ( $F=3,18-164,27$ ;  $p<0,05...0,001$ ).

Значения инбридинга в изученной популяции варьировали в пределах от 0,05% до 31,25%. Дисперсионным анализом установлено достоверное влияние градации фактора «уровень коэффициента инбридинга» на изменчивость следующих показателей

хозяйственно-полезных качеств животных: У305 ( $F=7,50$ ;  $P<0,001$ ), МДЖ ( $F=2,96$ ;  $p<0,001$ ), МЖ ( $F=7,40$ ;  $p<0,001$ ), МДБ ( $F=2,27$ ;  $p=0,05$ ), МБ ( $F=7,70$ ;  $p<0,001$ ), ВПО ( $F=3,18$ ;  $p<0,05$ ), ЖМ ( $F=7,29$ ;  $p<0,001$ ).

Уровень коэффициента инбридинга оказал отрицательное влияние на показатель удою за 305 дней лактации, что привело к снижению продуктивности с 6688 кг в первой группе до 6116 кг в пятой ( $p<0,001$ ). Все инбредные животные уступали аутбредным по удою на 16 кг во второй группе и до 572 кг в пятой ( $p<0,001$ ) за стандартную лактацию. Близкая закономерность получена для продукции молочного жира и белка молока, что составило снижение по группам 2 и 5, соответственно, на 2,0-25,9 кг и 1,6-21,7 кг. По массовой доле жира и белка также наблюдалась отрицательная динамика показателей по сравнению с контролем на -0,06% и -0,07% ( $p<0,001$ ) соответственно, однако она не имела четко определенной зависимости и носила колебательный характер (табл.11).

**Таблица 11** – Показатели молочной продуктивности дочерей быков в зависимости от индивидуального уровня коэффициента инбридинга ( $F_x$ )

№ группы	У305 дн., кг	МДЖ, %	МЖ, кг	МДБ, %	МБ, кг
1) до 1,0% (n=30922)	6688±8	4,09±0,002	273,1±0,3	3,23±0,001	215,8±0,3
2) 1,01-6,25% (n=7938)	6672±16	4,07±0,004***	271,1±0,7**	3,21±0,002***	214,2±0,5**
3) 6,26-12,5% (n=248)	6406±93**	4,09±0,02	261,1±3,8**	3,20±0,01	205,3±3,1***
4) 12,6-18,75% (n=43)	6243±192*	4,07±0,06	252,9±7,6*	3,24±0,02	201,2±5,8*
5) ≥18,76% (n=125)	6116±134***	4,03±0,03	247,2±6,0***	3,16±0,01***	194,1±4,6***

Возраст первого отела увеличивался относительно изменения градации коэффициента инбридинга по контрольной и пятой группам на 1 мес. – от 26,8 до 27,8 мес. ( $p<0,01$ ) соответственно. Продолжительность сервис-периода, как и межотельного периода, имела тенденцию к росту и варьировала от 149 до 157 дн. и от 426 до 434 дн. соответственно (таблица 12).

**Таблица 12** – Показатели воспроизводительных качеств в зависимости от уровня коэффициента инбридинга ( $F_x$ )

№ группы	ВПО, мес.	СП, дн.	МОП, дн.	ДД, дн.	КО, ед.	ЖМ, кг
1) до 1,0% (n=30922)	26,8±0,02	149,0±0,5	426,1±0,5	367,2±0,5	1,99±0,01	511,3±0,2 (n=30556)
2) 1,01-6,25% (n=7938)	26,8±0,03	148,7±0,9	426,1±0,9	366,5±0,9	2,01±0,01	510,1±0,5** (n=7794)
3) 6,26-12,5% (n=248)	27,1±0,2	151,7±5,3	429,9±5,3	369,8±5,3	1,90±0,08	506,6±2,6 (n=245)
4) 12,6-18,75% (n=43)	27,3±0,6	151,3±12,3	429,3±13,0	370±12,0	2,12±0,17	505,9±6,5 (n=42)
5) ≥18,76% (n=125)	27,8±0,4**	157,6±7,8	434,4±7,7	371,9±7,9	2,02±0,12	494,1±4,8*** (n=123)

Прослеживалась вариабельность в количестве осеменений, необходимых для оплодотворения, обусловленная в значительной степени паратипическими факторами и уровнем квалификации техника-осеменатора. Отметим, что для четвертой группы животных, полученных от близкородственного разведения, наблюдалась пониженная результативность осеменения, достигая значений 2,12 по сравнению с контрольной группой – 1,99, что в наибольшей степени характеризует существующую картину воспроизводства в стадах на данный момент времени. С возрастанием уровня инбридинга, живая масса коров-первотелок снижалась от 511,3 кг в первой группе

(n=30556) до 510,1 кг во второй (n=7794) при  $p < 0,001$ , 506,6 кг в третьей (n=245), 505,9 кг в четвертой (n=42) и 494,1 кг в пятой (n=123) ( $p < 0,001$ ).

Результаты регрессионного анализа фактических показателей молочной продуктивности и воспроизводства представлены в [таблице 13](#).

**Таблица 13** – Предельный порог снижения уровня продуктивности по хозяйственно-полезным признакам инбредных животных (эффект инбредной депрессии)

Fx, %	СП, дн.	МО П, дн.	У305, кг	ВПО, мес.	МДБ, %	МДЖ, %	МЖ, кг	МБ, кг	ЖМ, кг	ДД, дн.	КО, ед.
1,00	0,3	0,4	-25,5	0,05	-0,004	-0,004	-1,3	-1,1	-0,6	0,2	0,0003
3,125	1,1	1,2	-79,7	0,14	-0,013	-0,013	-4,1	-3,3	-2,0	0,6	0,0011
6,25	2,1	2,4	-159,5	0,28	-0,026	-0,026	-8,1	-6,6	-4,0	1,2	0,0022
12,5	4,3	4,8	-319,0	0,56	-0,053	-0,053	-16,3	-13,1	-8,0	2,4	0,0043

Увеличение в процентном соотношении на 1% доли общих генов по происхождению ведет к снижению на: -25,5 кг молока за лактацию, -0,004% компонентов молока, -1,1...-1,3 кг продукции молочного жира и белка, а также живой массы на -0,6 кг. В сравнении со средним уровнем по популяции голштинизированного черно-пестрого скота Московской области общие потери от возрастания инбридинга, приходящиеся на молочную продуктивность, для наиболее многочисленных групп 2 и 3 (1,0-12,5%), в стадах могут составлять: -319,0 кг молока для показателя У305, -0,053% для МДЖ и МДБ, -13,1...-16,3 кг для МЖ и МБ, и -8,0 кг по ЖМ.

Для воспроизводительных качеств была спрогнозирована обратная по направлению взаимосвязь, которая указывала на увеличение МОП и СП: +0,4 и +0,3 дня, соответственно. Возраст первого отела прогнозируемо может составить порог увеличения +1,12 месяца, при случае возникновения кровосмешения в стаде (популяции) при  $F_x = 25,0\%$ . Расход спермодоз на одно осеменение, равно как и их количество, слабо возрастало с увеличением коэффициента инбридинга. Однако увеличение количества дойных дней также ассоциировалось с возрастанием уровня инбридинга, но оно не смогло существенно компенсировать недополучение молока. Влияние величины инбридинга на хозяйственно-полезные признаки с высокой величиной средовой изменчивости, такие как репродуктивные качества (СП, МОП, ДД и КО), рост и развитие (ВПО, ЖМ), было сравнительно меньшим относительно показателей молочной продуктивности, где аддитивно-генетическая компонента более стабильна в поколениях животных. Анализ последних лет наблюдений (1995-2015 гг.) показал среднегодовой рост продуктивности коров в фенотипическом выражении: +114,3 кг молока, +0,010% МДЖ и +0,004% МДБ.

В [таблице 14](#) показаны средние значения показателей собственной продуктивности быков-производителей в зависимости от уровня инбридинга, рассчитанного по данным родословных с использованием четырёх рядов предков.

**Таблица 14** – Связь показателей собственной продуктивности быков-производителей (n = 78) по качеству семени с уровнем инбридинга

Fx, %	Средний объем эякулята, мл	Число сперматозоидов в среднем объеме эякулята, млрд шт.	Концентрация, млрд./мл	Активность, балл
I) 0,0 (n=17)	4,86±0,251	6,61±0,292	1,38±0,054	7,99±0,003
II) 0,2-1,56 (n=30)	4,88±0,154	6,57±0,225	1,34±0,033	7,99±0,0008
III) 1,61-3,34 (n=20)	4,95±0,278	6,58±0,345	1,34±0,041	7,99±0,001
IV) 3,52-7,47 (n=11)	5,45±0,32	6,65±0,33	1,23±0,049*	7,99±0,0008
R	0,119	0,018	-0,027	0,00052

R - коэффициент регрессии, здесь и далее



Замечено плавное повышение среднего объема эякулята с 4,86 мл до 5,45, со снижением концентрации с 1,38 млрд. / мл до 1,23 млрд. / мл, активность спермиев оставалась на одном уровне 7,99 балла. Результаты регрессионного анализа по показателям спермопродукции в зависимости от уровня инбридинга демонстрируют, что при увеличении общих генов по происхождению на 1% увеличиваются: средний объем эякулята на 0,119 мл, число сперматозоидов в среднем объеме эякулята на 0,018 млрд. шт., активность спермиев увеличивалась незначительно. Была констатирована обратная динамика в концентрации спермиев в эякуляте - так она снижалась на -0,027 млрд. / мл.

#### 2.2.4.2. Сравнительная характеристика биологических и хозяйственных признаков животных в зависимости от уровня гомозиготности по STR маркерам

Общая выборка составила n=80849 голов, с учетом выранжировки животных для создания исследуемой популяции, соответствующей принципу нормального распределения (табл. 15).

Таблица 15 – Влияние накопления уровня гомозиготности на абсолютные величины основных фенотипических показателей продуктивности дочерей быков

Уровень гомозиготности по STR, %	Абсолютные показатели продуктивности дочерей быков								
	У305, кг	МДЖ, %	МЖ, кг	МДБ, %	МБ, кг	ЖМ, кг	ВПО, мес.	СП, дн.	ДД, дн.
1	-4,3	0,001	-0,1	-0,0000	-0,1	-0,1	0,01	-0,2	-0,2
11	-47,3	0,011	-1,1	-0,0001	-1,4	-0,8	0,06	-2,2	-1,9
22	-94,6	0,022	-2,2	-0,0002	-2,9	-1,5	0,12	-4,4	-3,7
33	-141,9	0,033	-3,3	-0,0003	-4,3	-2,3	0,18	-6,6	-5,6
44	-189,2	0,044	-4,4	-0,0004	-5,7	-3,1	0,24	-8,8	-7,5
77	-331,1	0,077	-7,7	-0,0006	-10,0	-5,4	0,42	-15,4	-13,1

Увеличение на 10% степени гомозиготности связано с уменьшением фенотипических показателей удоя на 43 кг, снижению молочного жира и белка на 1,1-1,4 кг, соответственно, снижению количества дойных дней на 2 дня и снижению живой массы на 2 кг. Для фенотипических значений массовой доли белка были получены неоднозначные результаты, что мы связываем с невысокой изменчивостью признака. Сопоставление генетических и фенотипических показателей указывает на схожие закономерности при анализе уровня гомозиготности, что может быть учтено к использованию в программах разведения породы отдельно как на уровне стада, так и популяции в целом.

В таблице 16 отражено влияние уровня гомозиготности на показатели спермопродукции быков-производителей.

Таблица 16 – Связь показателей собственной продуктивности быков-производителей (n = 78) по качеству семени с уровнем гомозиготности по STR-маркерам

Уровень гомозиготности	Средний объем эякулята, мл	Число сперматозоидов в среднем объеме эякулята, млрд шт.	Концентрация, млрд./мл.	Активность, балл
I) 0,0 (n=5)	5,01±0,477	6,54±0,819	1,29±0,059	8,00±0,000
I-II) 0 – 11 (20)	5,01±0,217	6,68±0,288	1,34±0,041	7,99±0,00098
II) 11 (n=15)	5,01±0,252	6,73±0,293	1,35±0,052	7,99±0,0013
III) 22 (n=18)	4,5±0,273	6,17±0,28	1,4±0,053	7,99±0,00045
IV) 33 (n=23)	5,08±0,171	6,79±0,252	1,33±0,035	7,99±0,00061
V) 44 (n=15)	5,28±0,307	6,76±0,373	1,28±0,043	7,98±0,004
VI) 77 (n=2)	5,28±0,515	5,93±0,981	1,12±0,083	8,00±0,000
V-VI) 44 - 77 (n=17)	5,28±0,273	6,67±0,345	1,26±0,04	7,98±0,0037
R	0,0082	0,00095	-0,0022	-0,00014

Средний объем эякулята увеличился с 5,01 мл до 5,28 мл при уровне гомозиготности 77%, число сперматозоидов варьировало 6,54-6,79 млрд. шт. при 33% гомозиготности, 5,93 млрд. шт. при 77%. Концентрация спермиев сначала повышалась 1,29-1,4 млрд./мл при 22%, затем снизила значения до 1,12 млрд./мл при 77%. Регрессионным анализом установлено увеличение: среднего объема эякулята на 0,0082 числа сперматозоидов в среднем объеме эякулята на 0,00095 млрд шт., активность спермиев имела обратную зависимость, но изменялась незначительно. Была констатирована обратная динамика в концентрации спермиев в эякуляте, так она снижалась на -0,022 млрд./мл.

### 2.2.4.3. Сравнительная характеристика биологических и хозяйственных признаков животных в зависимости от уровня гомозиготности по SNP маркерам

В таблице 17 представлены основные хозяйственно-полезные показатели дочерей исследуемых быков.

Таблица 17 – Взаимосвязь абсолютных показателей молочной продуктивности и воспроизводительных качеств дочерей быков в связи с уровнем геномного инбридинга

Уровень $F_{ROH}$	У305, кг	МДЖ, %	МЖ, кг	МДБ, %	МБ, кг	В1, мес.	СП, дн.	ДД, дн.	ЖМ, кг
<0,041 (n=39)	6476± 93	4,11± 0,04	266± 4,56	3,22± 0,01	208± 3,05	27± 0,19	153,8± 2,26	365,2± 2,41	507,8± 2,55
0,042- 0,075 (n=76)	6574± 52	4,07± 0,01	267,5± 2,49	3,22± 0,006	211,5± 1,76	26,9± 0,14	156± 1,55	366,4± 1,44	514,5± 1,79
0,076- 0,108 (n=57)	6774± 63	4,07± 0,01	276,3± 3,05	3,23± 0,008	218,8± 2,05	26,7± 0,14	157,7± 1,68	368,2± 1,92	514,2± 1,8
≥ 0,109 (n=24)	6574± 113,5	4,07± 0,03	267,6± 5,19	3,19± 0,01	210,2± 3,72	27± 0,25	157,7± 2,98	368,4± 3,57	512,1± 3,42
R	25,58	-0,0045	0,75	-0,00008	0,819	-0,025	0,4	0,29	0,61

Удой за 305 дней лактации варьировал от 6476 при инбридинге < 0,041 до 6574 при ≥ 0,109, так же наблюдалось снижение массовой доли жира и белка молока с 4,11-4,07% и 3,22-3,19%, соответственно (табл. 17). Наблюдалось увеличение сервис-периода с 153,8 до 157,7 дней. Анализ абсолютных показателей молочной продуктивности и фертильности дочерей быков с величиной их геномного инбридинга указывал на положительную сопряженность с изучаемыми признаками. Использование умеренной величины инбридинга позволяет получать более продуктивное и однородное потомство в сравнении с аутбредными животными, при градациях <0,041...0,076-0,108: на +298 кг молока, +10,3 кг МЖ, +10,8 кг МБ.

Регрессионным анализом установлено, что 1% геномного инбридинга в расчёте по  $ROH$ -паттернам связан с увеличением удоя за 305 дней лактации на 25,58 кг, молочного жира и белка на 0,75 и 0,819 кг соответственно, при незначительной потере массовой доли молочного белка (-0,00008%) и молочного жира (-0,0045%). По показателям воспроизводства заметна положительная направленность к увеличению последних: сервис-период +0,4 дн., дойные дни +0,29 дн., живая масса +0,61 кг, за исключением возраста первого отела, он снижается на -0,025 мес. Был произведен расчет влияния геномного инбридинга на показатели собственной продуктивности быков-производителей, результаты изложены в таблице 18.

Средний объем эякулята и число сперматозоидов в нем увеличивались с уровнем геномного инбридинга с 4,62 мл при 6,16 млрд. шт. в первой группе, до 5,42 мл и 7,10 млрд. шт. в четвертой, соответственно.

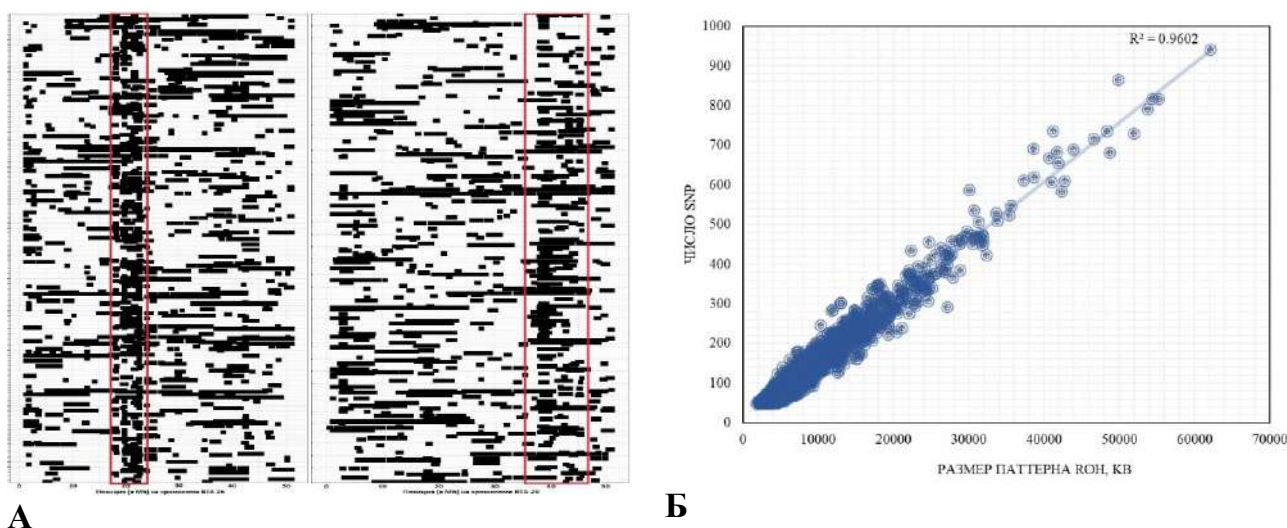
**Таблица 18** – Связь показателей собственной продуктивности быков-производителей (n=78) по качеству семени с уровнем геномного инбридинга

Уровень $F_{ROH}$	Средний объем эякулята, мл	Число сперматозоидов в среднем объеме эякулята, млрд шт.	Концентрация, млрд./мл.	Активность, балл
I) <0,041 (n=12)	4,62±0,22	6,16±0,38	1,33±0,06	8,00±0,004
II) 0,042-0,075 (n=26)	4,74±0,21	6,62±0,29	1,41±0,04	8,00±0,001
III) 0,076-,0108 (n=30)	5,17±0,19*	6,59±0,20	1,29±0,03 <sup>*/*</sup>	8,00±0,002
IV) ≥ 0,109 (n=10)	5,42±0,33 <sup>*/*</sup>	7,10±0,36*	1,32±0,03 <sup>*/*</sup>	8,00±0,001
R	0,074	0,62	-0,0066	0,000059

### 2.2.5. Анализ регионов в геноме, входящих в гомозиготный локус и формирующих кластеры повышенного селекционного давления, и наиболее значимых протеин-кодирующих генов, находящихся под давлением отбора и идентифицированных с помощью ROH

Проанализировав распределение  $ROH$  по 29 хромосомам крупного рогатого скота, были установлены 14 регионов в геноме с максимальной встречаемостью у не менее чем 30% особей на  $BTA$  (*bos taurus autosome*): 1 (83,090 – 88,389 Mb), 6 (71,796 – 81,653 Mb), 7 (44,591 – 49,392 Mb), 8 (60,872 – 67,867 Mb), 9 (23,710 – 26,856 Mb), 10 (71,730 – 75,637 Mb), 12 (39,737 – 48,123 Mb), 14 (24,295 – 26,117 Mb; 29,830 – 38,454 Mb), 16 (41,689 – 48,314 Mb), 20 (40,349 – 46,794 Mb), 22 (18,701 – 29,396 Mb), 26 (20,206 – 28,389 Mb), 29 (36,619 – 44,241 Mb) (рис. 3А).

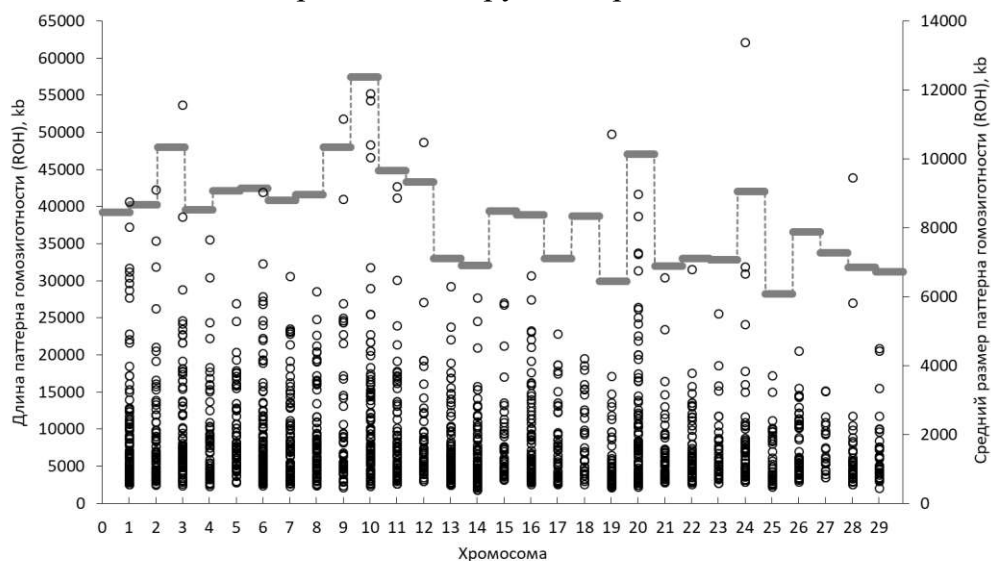
Полученные результаты указывают, что при увеличении инбридинга на основе  $SNP$ -маркеров уровень детекции гомозиготных паттернов в участках генома также возрастает. При этом, чем больше величина инбридинга, тем выше частота встречаемости гомозиготных сегментов (в среднем от 15,5 до 25,7, соответственно, при величине инбридинга от 0 до 8,5%). Суммарная длина паттернов и среднее значение  $ROH$  имеют тенденцию к увеличению в зависимости от уровня инбридинга: 271,3 Mb и 10 862 kb при 5,0% и выше (рис. 3Б).



**Рисунок 3** – Паттерны гомозиготности на хромосомах 26, 29 (А) и размер паттерна  $ROH$  в зависимости от числа  $SNP$  формирующих гомозиготный локус (Б).

Была проведена аннотация входящих в них  $SNP$  для поиска наиболее значимых генов и формируемых ими  $QTL$  (*quantitative trait loci*). Установлено, что от 32 до 64% особей от общей выборки имели аналогичное расположение  $ROH$  паттернов с

детектируемыми позициями. На [рисунке 4](#) представлено распределение встречаемости паттернов гомозиготности на хромосомах крупного рогатого скота.



**Рисунок 4** - Распределение встречаемости паттернов гомозиготности (*ROH*) по длинам фрагментов в популяции в зависимости от размера на хромосомах крупного рогатого скота.

Локусы количественных признаков наследуются совместно с паттернами гомозиготности *ROH* и сцеплено с различными генами. В ходе анализа встречаемости паттернов гомозиготности в исследуемой популяции детектирован ряд кластеров с входящими в них протеин кодирующими генами, находящимися под давлением отбора. Наиболее значимые из них участвуют в регуляции состава жирных кислот, метаболизме и транспортировке липидов, фактор роста эндотелия сосудов, регулируют сердечную функцию, участвуют в связывании актина - белка, который образует (вместе с миозином) сократительные нити мышечных клеток, а также способствует движению других типов клеток, участвуют в активности ДНК-связывающего фактора транскрипции, регулируют оксидоредуктазную активность, канцерогенез, принимают участие в регуляции аппетита, в формировании иммунной системы и. т.д.

Они ассоциированы с показателем целостности акросомы сперматозоидов, их подвижностью и количеством, с сосательным рефлексом теленка, выходом молочного белка и удоем молока, с количеством соматических клеток, количеством осеменений необходимых для достижения стельности, связаны с массой тела при рождении, с содержанием насыщенных и ненасыщенных жирных кислот в молоке: арахидовой, каприновой, капроновой, каприловой, маргаритовой, миристиновой, миристолеиновой, олеиновой, пальмитиновой, пальмитолеиновой кислоты, стеариновой, с экстерьером: глубиной корпуса, молочного типа в целом, шириной крупа, ростом, прикреплением вымени, высотой вымени.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщение и анализ полученных результатов обосновывает следующие выводы:

1. Установлено, что наибольшей степенью генетической удаленности характеризовалась голштинская порода красно-пестрой масти от группы черно-пестрого скота ( $F_{st}=0,027$ ). На долю внутригрупповой генетической изменчивости приходится 92%, тогда как межгрупповые различия составили 8%. ( $p<0,001$ ). По *SNP*-маркерам отмечено достоверное ( $p<0,001$ ;  $p<0,01$ ) отличие групп (2008-2011; 2012-2014 гг. рождения быков) от всех остальных при попарном сравнении. Результат расчета  $F_{ROH}$  по

стране происхождения быка указывает на достоверно ( $p < 0,001$ ) значимую дифференциацию группы животных из Российской Федерации от животных, рожденных в Германии и Канаде (немецкого и канадского корня).

2. Величина инбридинга по родословной варьировалась в пределах 0,0-12,5 %, по *STR*-маркерам 0,0-77%, по *SNP (ROH)* 0,55-17,71%.

3. Показатель инбридинга, вычисленный на основании *ROH*-паттернов более точен, так как он опирается на реализованные геномные данные и нивелирует возможные неточности, допущенные при формировании баз данных первичного учёта. Коэффициент ранговой корреляции является генетическим коэффициентом корреляции, поскольку рассчитан на основе геномной информации. Отмечена прямая умеренная связь  $r_s = 0,443$  ( $p < 0,05$ ) между  $F_x$  и  $F_{ROH}$ . Положительная слабая связь  $r_s = 0,013$  ( $p < 0,05$ ) между  $F_x$  и  $Ca$  отражает основные зависимости.

4. Анализ признаков собственной продуктивности быков показал взаимное увеличение таких показателей как средний объем эякулята и число сперматозоидов с 4,62 (4,56) - 5,42 мл, 6,16 (6,17) - 7,10 (7,09) млрд. шт., соответственно, во взаимосвязи с  $F_{ROH}$ . Концентрация сперматозоидов и их активность в баллах не зависели от геномного уровня инбридинга. Расчет признаков собственной продуктивности вкупе с уровнем гомозиготности по *STR*-маркерам показал увеличение среднего объема эякулята с 5,01 в первой до 5,28 и увеличение числа сперматозоидов с 5,54 до 6,67 млрд. шт., соответственно со снижением концентрации с 1,29 до 1,26 млрд./мл. Расчет с коэффициентом инбридинга по родословной подтверждает основные зависимости: увеличение среднего объема эякулята с 4,86 до 5,45 мл, числа сперматозоидов с 6,61 до 6,65 млрд. шт. при снижении концентрации сперматозоидов с 1,38 до 1,23 млрд./мл.

5. Увеличение коэффициента инбридинга, рассчитанного по родословной дочерей быков, в популяции на 1% связано с уменьшением удоя на 25,5 кг молока за 305 дней первой лактации, что составляет 0,4% от средних показателей, снижению выхода количества молочного жира и белка на 0,5%, падению живой массы на 0,1%, а также увеличению продолжительности межотельного периода на 0,1%, продолжительности сервис-периода и возраста первого отела на 0,2%.

Расчет по *STR*-маркерам показал, что увеличение на 1% степени гомозиготности в генотипе быков-производителей связано с уменьшением удоя на 4,3 кг молока за 305 дней лактации, что составит 142 кг за лактацию у наибольшего количества животных, исходя из среднего показателя инбридинга в исследуемой популяции, снижением выхода количества молочного жира и белка на 0,1 и 0,13 соответственно.

Расчет по *SNP*-маркерам показал, что увеличение на 1% уровня геномного инбридинга у быков-производителей, в свою очередь, связано с увеличением удоя на 25,6 кг за 305 дней лактации у их дочерей, выхода молочного жира и белка на 0,75 кг и 0,82 кг соответственно, увеличением живой массы на 0,61 кг, количества дойных дней на 0,29 дн., продолжительности сервис-периода на 0,4 дн., снижением массовой доли жира и белка молока на -0,0045 и -0,0001% соответственно, а также возраста первого отела на -0,025 мес. Анализ результатов разнится с данными по  $F_x$  и *STR*, что указывает на нереализованный генетический потенциал в исследуемой популяции.

6. Оптимизировано уравнение смешанной модели прогноза племенной ценности быков-производителей и коров с учетом включения в него как фиксированного фактора – коэффициента инбридинга (гомозиготности):

$$Y_{ijk} = \mu + HYS_i + \sum_k b_1 A_k + \sum_k b_2 DO_k + F_{x(Ca, ROH)} + Sire_j + e_{ijk}$$

где:  $Y_{ijk}$  – оцениваемый показатель  $k$ -ого животного;  $\mu$  – популяционная константа;  $HYS_i$  – фиксированный эффект  $i$ -го «стада-года-сезона» отела ( $i=1, \dots, n$ , факторов);  $b_{1,2}$  – коэффициенты линейной регрессии;  $A_k$  – возраст первого отела  $k$ -ой первотелки, дочери оцениваемого быка (коварианса);  $DO_k$  – продолжительность сервис-периода  $k$ -ой первотелки (коварианса);  $F_{x(Ca, ROH)}$  – фиксированный эффект коэффициента инбридинга по родословной (гомозиготности по STR, геномного инбридинга по SNP);  $Sire_j$  – рандомизированный эффект  $j$ -го быка-производителя, имеющий нормальное распределение с дисперсией равной  $A\sigma_a^2$ , где  $A$  – аддитивная матрица родства ( $j=1, \dots, n$ , гол.);  $e_{ijk}$  – эффект неучтенных факторов ( $0, \sigma_e^2$ ).

7. Проведена аннотация генов, входящих в гомозиготные локусы *ROH* и формирующих кластеры повышенного селекционного давления, которая позволяет заключить о predetermined влиянии их на показатели молочной продуктивности (*WDR74, CHUK, SUFU, SORCS3, COX15, SLC25A28, DNMBP, PKD2L1, BTRC, GBF1, SLK, PDZD2, CDH6, VPS13D, UBE4B, RBP7, SPSB1, ACOT7, CYP7B1, ARMC1, YTHDF3, ARFGF1, DAAM1, HIF1A, NCOA7, LPL, GABBR2, MADCAM1, ABCA7, KIT*), воспроизводительных качеств (*CCDC86, INCENP, SLC3A2, CDC42BPG, VEGFB, CAPN1, SORCS3, DNMBP, ZNF511, ITPR1, CNTN3, TNFRSF8, CYP7B1, CSPP1, DNAJC5B, SDR16C6, CHCHD7, FAM110B, KCNH5, ATP6V1B2, GDF9, PAICS, MCF2L2*) и признаки экстерьера или оценки типа телоложения (*MADCAM1, LPL, POLR1E, HIF1A, KLHL1, YTHDF3, DNAJC5B, CRH, PREX2, XKR4, SDR16C6, CHCHD7, PLAG1, IMPAD1, FAM110B, TAS1R1, NPR3, CDH6, SUFU, SORCS3, TUT1, VEGFB, CAPN1*). Также стоит отметить гены, ассоциированные с содержанием линоленовой, олеиновой, миристиновой, стеариновой кислот, содержанием ненасыщенных жирных кислот (*SCD, CHUK, SUFU, SORCS3, BTRC, INA, SLK, ECHS1, SORCS1, KCNH5, DHRS7*), темпераментом (*CCDC88B*), уровнем адренокортикотропного гормона (*SLC22A8, LGALS12*), количеством соединительной ткани (*EHD1*) и восприимчивостью к респираторным и иным заболеваниям (*KDR, LPL*). Установлено, что многие из перечисленных выше генов обладали плеiotропным действием.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Организациям по искусственному осеменению сельскохозяйственных животных, занимающимся содержанием и получением семени быков-производителей голштинской породы крупного рогатого скота, а также иным видам племенных хозяйств, рекомендуется проводить *SNP*-генотипирование с целью измерения уровня гомозиготности (геномного коэффициента инбридинга) по *ROH*-паттернам для контроля повышения коэффициента инбридинга на индивидуальном и популяционном уровнях и предотвращения проявления инбредной депрессии.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Использование генотипирования по *SNP*-маркерам, с дальнейшим анализом *ROH*-паттернов, поможет достичь прогнозируемых показателей молочной продуктивности и воспроизводства, а также, избежать негативного проявления высокого уровня гомозиготности за счёт точного контроля последней при моделировании селекционного процесса. Оценка влияния инбридинга у уровня гомозиготности на признаки экстерьера имеет значительный интерес в современных условиях развития животноводства с интенсификацией последнего при закономерном увеличении инбредности за счёт ориентации на лидеров популяции.

## **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

Публикации в журналах ВАК Минобрнауки РФ и работы к ним приравненные, имеющие шифр искомой специальности:

1) Nedashkovsky, I. S. Assessing Homozygosity Level in The Russian Black-and-White and Holstein Cattle Using Whole-Genome Analysis / I. S. Nedashkovsky, A. A. Sermyagin, O. V. Kostyunina, G. G. Brem, N. A. Zinoveva // Journal of Animal Science. – 2018. – Т. 96. – № S3. – С. 139. – Режим доступа: <https://doi: 10.1093/jas/sky404.304>.

2) Недашковский, И. С. Оценка племенной ценности быков-производителей голштинской породы по качеству потомства в связи с уровнем гомозиготности по STR-маркерам / И. С. Недашковский, О. В. Костюнина, В. В. Волкова, А. Н. Ермилов, А. А. Сермягин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. – 2019. – № 3 (43). – С. 36 – 43. – Режим доступа: <https://doi: 10.36508/RSATU.2019.43.41328>.

3) Недашковский, И. С. Влияние уровня геномного инбридинга, оцененного по ROH-паттернам, на воспроизводительные качества и молочную продуктивность дочерей, а также спермопродукцию голштинских быков-производителей / И. С. Недашковский, А. А. Сермягин, О. В. Костюнина, И. Н. Янчуков, Н. А. Зиновьева // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35. – №3. – С. 39 – 45. – Режим доступа: <https://doi: 10.24411/0235-2451-2021-10307>.

4) Недашковский, И.С. Влияние уровня геномного инбридинга голштинских быков-производителей на изменчивость показателей экстерьера и тип телосложения их дочерей / И.С. Недашковский, А.Ф. Контэ, А.А. Сермягин // Достижения науки и техники АПК. – 2023. Т. 37. №6. С. 66 – 74. – Режим доступа: [https://doi: 10.53859/02352451\\_2023\\_37\\_6\\_66](https://doi: 10.53859/02352451_2023_37_6_66).

Публикации в журналах ВАК Минобрнауки РФ:

5) Недашковский, И. С. Популяционно-генетическая характеристика, оценка геномного инбридинга и гомозиготности крупного рогатого скота черно-пестрой и голштинской пород по STR и SNP маркерам в России / И. С. Недашковский, А. А. Сермягин, О. В. Костюнина, В. В. Волкова, Е. А. Гладырь, И. Н. Янчуков // Вестник Пермского университета. Серия Биология. – 2021. – №4. – С. 295 – 306. – Режим доступа: <https://doi: 10.17072/1994-9952-2021-4-295-306>.

6) Игнатъева, Л. П. Оценка индивидуального уровня гомозиготности быков на основе геномной информации / Л. П. Игнатъева, А. А. Белоус, И. С. Недашковский, О. В. Костюнина, А. А. Сермягин, Н. А. Зиновьева // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2019. – Т. 49. – №6. – С. 79 – 87. – Режим доступа: <https://doi:10.26898/0370-8799-2019-6-9>.

В других журналах:

7) Сермягин, А. А. Оценка эффекта голштинизации в популяции черно-пестрого скота Подмосковья / А. А. Сермягин, Е. Н. Нарышкина, И. С. Недашковский, А. Н. Ермилов, Т. В. Богданова // Агробиотехника. – 2018. – Т. 1. – №3. – С. 1 – 13. – Режим доступа: <https://doi: 10.15838/alt.2018.1.3.1>.

8) Недашковский, И. С. Оценка влияния уровня инбридинга на молочную продуктивность и воспроизводительные качества коров голштинизированной популяции черно-пестрой породы / И. С. Недашковский, А. А. Сермягин, Т. В. Богданова, А. Н. Ермилов, И. Н. Янчуков, Н. А. Зиновьева // Молочное и мясное скотоводство. – 2018. – №7. – С. 17 – 22. – Режим доступа: <https://doi: 10.25632/MMS.2018.7.21450>

В других изданиях:

9) Недашковский, И. С. Причины выбытия голштинизированного черно-пестрого и голштинского скота в зависимости от номера лактации и уровня инбридинга / И. С. Недашковский, Д. Н. Недашковская, А. Н. Ермилов, А. А. Сермягин // В сборнике: Управление устойчивым развитием сельских территорий региона. Материалы международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 212 – 216.

10) Недашковский, И. С. Оценка гомозиготности в популяции молочного скота на основе использования полногеномных данных / И. С. Недашковский // Материалы XXV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». – 2018. – М.: МГУ.

11) Недашковский, И. С. Влияние уровня гомозиготности по STR- маркерам на показатели хозяйственно-полезных качеств дочерей быков черно-пестрой и голштинской пород / И. С. Недашковский, В. В. Волкова, Е. А. Гладырь, О. В. Костюнина, А. Н. Ермилов, И. Н. Янчуков, А. А. Сермягин // В сборнике: Современное состояние и перспективы совершенствования симментальской породы. Материалы международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 117 – 123.

12) Недашковский, И. С. Сравнительный анализ по оценке влияния накопления уровня гомозиготности голштинизированного крупного рогатого скота Подмосковья с использованием различных методов расчета / И. С. Недашковский, А. А. Сермягин, Д. Н. Недашковская, О. В. Костюнина, В. В. Волкова, Е. А. Гладырь, А. Н. Ермилов, И. Н. Янчуков // В сборнике: Повышение конкурентоспособности животноводства и задачи кадрового обеспечения. Материалы XXV международной научно-практической конференции. Российская академия менеджмента в животноводстве. – 2019. – С. 86 – 91.

13) Недашковский, И. С. Оценка степени генетического разнообразия у голштинизированного крупного рогатого скота Подмосковья / И. С. Недашковский, О. В. Костюнина, Д. Н. Недашковская, В. В. Волкова, А. А. Сермягин // В сборнике: Научное обеспечение развития животноводства в российской федерации. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста. – 2019. – С. 349 – 354.