

В диссертационный совет 35.2.025.03 при
Федеральном государственном бюджетном
образовательном учреждении высшего
образования «Новосибирский государственный
аграрный университет»

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора сельскохозяйственных наук Прожерина Валентина Петровича на диссертационную работу Петрова Алексея Федоровича «Генеалогическая и генетическая структура черно-пестрого скота Западной Сибири», представленную в диссертационный совет 35.2.025.03 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный аграрный университет» на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности: 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных

Актуальность темы диссертационного исследования. Практика селекционно-племенной работы с молочными породами крупного рогатого скота Российской Федерации показывает, что за последнее десятилетие продуктивные качества подконтрольных животных, включая племенных коров черно-пестрой породы, увеличились и значительно. При этом отмечается негативная тенденция значительного сокращения численности подконтрольного поголовья животных указанного происхождения, что в свою очередь может быть одним из основных сдерживающим фактором в организации селекционно-племенной работы с породой в целом и в племенных стадах отдельных породных популяций.

Складывающаяся ситуация в молочном животноводстве России в целом свидетельствует о недостаточной эффективности ведения племенной работы, которая, как правило, базируется в основном на использовании

традиционных методов селекции в животноводстве и ограниченно замыкается в рамках отбора и подбора животных, оцененных по собственной продуктивности. Более того, отсутствие верифицированных и централизованных источников данных о генеалогической и генетической структуре породных популяций в значительной мере препятствует организации эффективной отечественной селекции, что негативно сказывается на качестве племенного маточного поголовья. Разобщенность и наличие ошибок в генеалогических базах данных предприятий в регионах снижают точность популяционно-генетических исследований и, как следствие, также приводят к снижению эффективности отечественного племенного животноводства. Дальнейшее повышение селекционного процесса безусловно будет связано с развитием генетики и научного понимания современных методов повышения интенсивности отбора, точности оценки селекционируемых признаков и генетического потенциала животных на ранних стадиях развития при снижении затрат на получение животных новых генераций.

Обозначенная проблема особую остроту приобретает в регионах России с разнообразными и зачастую экстремальными природно-климатическими условиями, такими как в Западной Сибири. Это в совокупности, безусловно, предъявляет повышенные требования к достоверности генеалогической информации и адекватному отражению генетической структуры трансконтинентальных пород, в первую очередь голштинской, доминирующей в молочном скотоводстве Сибирского федерального округа. Потенциал дальнейшего повышения продуктивности молочного скота в данном регионе неразрывно связан с необходимостью цифровой трансформации отрасли и обеспечением достоверности первичных зоотехнических данных.

Актуальность заявленных научно-исследовательских выполненных работ соискателя, таким образом, обусловлена необходимостью сохранения

и рационального использования имеющегося генетического потенциала черно-пестрого скота с учетом специфических условий Западной Сибири и стремлением к обеспечению технологической независимости в области племенного молочного скотоводства. Этим обусловлена необходимость углубленного изучения генетической и генеалогической структур подконтрольного скота черно-пестрой породы на основе верифицированных данных первичного зоотехнического учета.

Особую значимость приобретают исследования, ориентированные на адаптацию существующих методологических подходов в селекции молочного скота России к специфическим региональным условиям и породам, а также на развитие методов верификации и валидации данных первичного зоотехнического учета, как национального фундамента для достоверных популяционно-генетических исследований и эффективной селекции. Данные обстоятельства определяет **актуальность и целесообразность проведения комплексных научных исследований**, выполненных Петровым А.Ф.

Цель диссертационной работы четко определена поиском и обоснованием комплексного подхода в оценке генеалогической и генетической структуры черно-пестрого скота Западной Сибири по верифицированным данным первичного зоотехнического учёта для целей разработки научно-обоснованных основ региональных породных программ крупномасштабной селекции.

Исходя из цели, Петровым Алексеем Федоровичем **были решены следующие задачи:** по разработке и внедрению комплексной методологии верификации и валидации данных первичного зоотехнического учёта в молочном скотоводстве Западной Сибири, включающую математическую модель прогнозирования удоя и обеспечивающую формирование достоверной и научно-обоснованной базы для генеалогического и генетического анализа; дана независимая оценка несмещённой

генеалогической структуры современной популяции черно-пестрого скота на региональном уровне, включая уровень её дискретности, для целей определения оптимальных стратегий управления генетическими ресурсами; проведено изучение несмещённой генетической структуры популяции чёрно-пёстрого скота по STR-локусам с использованием больших массивов верифицированных данных для оценки генетического разнообразия и выявления породных особенностей популяции скота Западной Сибири; обеспечен анализ несмещённой генетической структуры популяции по SNP-локусам, ассоциированных с признаками молочной продуктивности подконтрольного поголовья коров для совершенствования методов оценки племенных качеств молочного скота в рамках региональных программ крупномасштабной селекции, в том числе геномной селекции.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что выполнено комплексное изучение генеалогической и генетической структуры породных популяций черно-пестрого скота Западной Сибири на региональном уровне на основе уточненных (верифицированных) данных первичного зоотехнического учета, что обеспечивает целостное представление о генетических ресурсах федерального округа для целей разработки программ крупномасштабной селекции. Разработана и внедрена авторская комплексная методология верификации и валидации данных, обеспечивающая получение достоверной основы для последующего генетического анализа и принятия обоснованных управленческих селекционных решений. Создана региональная база данных верифицированных генотипов и фенотипов черно-пестрого скота, обеспечивающая решение проблем цифровой идентификации племенных животных. Научно-обоснованы пути повышения точности математических моделей прогнозирования удоя при использовании уточненных данных фенотипа племенных животных, что обосновывает их практическую значимость в повышении эффективности селекционных программ в

молочном скотоводстве Западной Сибири.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическое значение выполненной диссертационной работы заключается в получении новых знаний о несмещенных генеалогической и генетической структурах поголовья черно-пестрого скота Западной Сибири, а также об уровнях изменчивости признаков молочной продуктивности подконтрольного поголовья. Авторская разработка и апробация комплексной методологии валидации и верификации больших объемов входных данных первичного зоотехнического учёта, основанной на программных алгоритмах, математическом моделировании и многомерном статистическом анализе, вносит несомненный вклад в развитие теории и практики управления качеством учетных данных в животноводстве. Полученные результаты и разработанная методология формируют научно-теоретическую базу для дальнейших исследований в области геномной селекции молочного скота России.

Практическая значимость работы определяется созданием прикладных инструментов и методических решений, направленных на повышение эффективности селекционно-племенной работы с черно-пестрым скотом Сибири. В практику работы племенных хозяйств федерального округа, а также региональных информационно-селекционных центров, предлагаются к практическому использованию разработанное и апробированное прикладное программное обеспечение, верифицированная региональная база данных и математическая модель изменчивости уровня удоя.

Основные положения и результаты научных исследований обсуждены и получили одобрение на научно-практических конференциях: и мероприятиях: круглый стол "Проекты для рынка Фуднет" (в рамках цикла мероприятий "Что такое рынки НТИ") (6 октября 2022), "SibAgroTech 2022" - I Научно-практическая конференция (Новосибирск

2022), «Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии XXIII». Материалы 23-ей всероссийской молодежной научной конференции (Москва 2023), Всероссийская научно-практическая конференция «Инновационные методы и технологии повышения продуктивности в молочном животноводстве» (Барнаул 2024), Сборник трудов научно-практической конференции преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов Новосибирского ГАУ Выпуск 9 (Новосибирск 2024), Conference Proceedings: Global Food Forum 2021. Dialogue without borders (Бишкек, 2022).

Автором по теме диссертации опубликовано всего 11 работ, в том числе в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК - 5 статей и работа в издании «Veterinary World». Также получено свидетельство о регистрации базы данных.

Диссертация изложена на 196 страницах машинописного текста, содержит следующие разделы: введение, обзор литературы, материалы и методы исследования, результаты исследований, обсуждения результатов, предложения, библиографический список, включающий в себя в себя 137 отечественных и 123 зарубежных источников, 5 приложений. Диссертационная работа содержит 14 таблиц и 30 рисунков.

Во введении обозначена актуальность данной работы и современные тенденции в формировании, хранении и обработки больших баз данных первичного зоотехнического учета и системного генотипирования племенных животных.

Основная часть диссертации включает в себя: обзор литературы, материалы и методы исследований, результаты собственных исследований, заключение, включающие в себя выводы, рекомендации по практическому использованию научных выводов и перспективы дальнейшей разработки темы исследований.

В разделе «Обзор литературы» автором на основе изученных литературных источников приводятся результаты работы отечественных и зарубежных авторов по актуальным тенденциям в молочном скотоводстве, выявивших необходимость сохранения генетического разнообразия и преодоления зависимости российских племенных организаций от импортного племенного материала вследствие интенсивной голштинизации отечественного поголовья крупного рогатого скота. Показано, что информационные технологии на сегодня рассматриваются как ключевой инструмент для управления большими массивами данных и цифровой трансформацией отрасли, однако, фрагментация и децентрализация данных первичного зоотехнического учета в России создают существенные препятствия для эффективной реализации мероприятий крупномасштабной селекции и требуют разработки централизованных информационно-аналитических систем, обеспечивающих достоверность учетных показателей и обновленный взгляд на генеалогическую и генетическую структуры подконтрольных популяций молочного скота и разводимых пород в целом. В обзоре литературы материал изложен в логической последовательности и достаточно полно раскрывает направленность выбранных исследований.

В разделе «Материалы и методика исследований» соискатель указывает, что исследования по комплексной оценке генеалогической и генетической структуры популяции черно-пестрого скота Западной Сибири выполнены на базе лаборатории прикладной биоинформатики ФГБОУ ВО Новосибирский государственный аграрный университет.

Данные о фенотипах, генотипах и генеалогии подконтрольного поголовья племенных животных черно-пестрой породы, полученные из баз данных племенных предприятий Сибирского федерального округа, интегрированы в единую реляционную базу данных (СУБД MySQL) с разработанной под исследование архитектурой. Процесс интеграции включал верификацию и валидацию данных с использованием, созданного

под задачи, программного обеспечения (ПО). В результате была сформирована база данных, охватывающая 299 102 уникальных животных из 22 предприятий. База была дополнена информацией о животных зарубежной селекции (CDN), что позволило учесть влияние иностранного генофонда. Оценка генеалогической структуры популяции проводилась на основе анализа полноты и достоверности родословных, рассчитывалась заполненность генеалогии по группам животных. Для визуализации и анализа родственных связей использовались программные инструменты на языке R (версия 4.x.x), строящие нисходящие диаграммы родства. Сходство племенных предприятий по генеалогическим данным оценивалось методами кластерного анализа (иерархические агломеративные методы, в частности, метод Уорда, с использованием метрик Евклида и Чебышева) с визуализацией дендрограммами).

Генетическая структура популяции оценивалась с использованием данных по 12 рекомендованным Коллегией ЕЭК и ISAG микросателлитным локусам (BM1818, BM1824, BM2113, ETH3, ETH10, ETH225, INRA023, SPS115, TGLA53, TGLA122, TGLA126, TGLA227) для 10 228 животных. Рассчитывались основные показатели генетической изменчивости: число аллелей на локус, частоты аллелей, наблюдаемая (H_o) и ожидаемая гетерозиготность (H_e), эффективное число аллелей, индекс фиксации Райта, а также индексы разнообразия Шеннона и Симпсона, согласно общепринятым методикам [Меркурьева, 1977; Guo et al., 1992; Kalish et al., 2005 и др.]. Соответствие равновесию Харди-Вайнберга (HWE) проверялось критерием хи-квадрат. Расчеты выполнялись с использованием пакетов R (adegenet, DiveRsity) и разработанного ПО, валидированного сравнением с GenAlEx. Для более детального анализа использовались данные полногеномного SNP-типирования животных голштинской породы (чипы BovineSNP50 BeadChip). Контроль качества данных и фильтрация SNP-локусов (по частоте успешного

генотипирования для маркера и образца, частоте минорного аллеля $MAF > 0,05$) осуществлялись с помощью PLINK 1.9 и пакета snpReady. Рассчитывались показатели генетического разнообразия (частоты аллелей, H_o , H_e , уровень полиморфизма (PIC) и генетическое разнообразие H_n) с проверкой отклонений от равновесия Харди-Вайнберга (критерий хи-квадрат). Анализ фокусировался на SNP, ассоциированных с признаками молочной продуктивности.

Статистическая обработка количественных признаков включала описательную статистику и проверку соответствия нормальному распределению (критерий Андерсона-Дарлинга), с последующей фильтрацией данных. Оценка вклада генетических и паратипических факторов в фенотипическую изменчивость признаков молочной продуктивности осуществлялась с использованием линейных смешанных моделей (LMM) [Mrode et al., 2005]. В модели включались фиксированные и случайные эффекты (сезон и год отёла/запуска, их взаимодействия, номер лактации, возраст первого осеменения/отёла, идентификатор отца, идентификатор животного). Оценка вклада эффектов проводилась в рамках построенных смешанных моделей. Для оценки прогностической способности моделей применялась однократная кросс-валидация, сравнение моделей – по информационным критериям Акаике (AIC) и Шварца (BIC) [Legarra et al., 2009; Ludden et al., 1994]. Методология работы с большими базами данных и их кластеризации была дополнительно апробирована на примере анализа данных международной базы CDN (кластеризация 28 стран по EBV признаков молочной продуктивности для 819 358 животных) с использованием метода главных компонент (PCA) и кластерного анализа (метод Уорда), СУБД MySQL, Firebird с использованием написанного для исследования ПО.

Также приведена развернутая схема научных исследований по теме диссертации.

В разделе «Результаты собственных исследований» соискателем изучена генеалогическая структура современной популяции молочного скота черно-пестрой породы в условиях хозяйств Западной Сибири. Была установлена значительная вариабельность качества генеалогической информации между подконтрольными хозяйствами. Целостный анализ генеалогической структуры черно-пестрого скота Западной Сибири выявил интенсивное использование ограниченного числа быков-производителей, преимущественно голштинской породы североамериканской селекции. Детальный тестовый анализ генеалогических деревьев, проведенный диссертантом, позволил установить ряд систематических ошибок и манипуляций с данными первичного племенного учета, включая заикливание и дублирование записей, способные исказить информацию о родственных связях и смещать оценку племенной ценности.

В рамках валидации данных первичного цифрового учета молочной продуктивности автором установлен ряд следующих ключевых аспектов. Анализ исходного цифрового материала выявил значительные отклонения от приемлемых значений для ряда признаков, что подчеркивает необходимость предварительной обработки данных. Применение фильтрации по репродуктивным признакам подконтрольного поголовья позволило выделить животных в пределах приемлемых границ варьирования и улучшить качество данных, что подтверждено снижением критерия Андерсона-Дарлинга. Визуализация распределений признаков молочной продуктивности (массовая доля молочного жира и удой за 305 дней лактации) выявила отклонения от нормального распределения, что акцентирует важность статистического контроля качества используемых в обработке данных.

Выполненная валидация данных международной базы CDN с применением кластерного и многомерного анализа подтвердила их валидность для проведения международных сопоставлений и бенчмаркинга в молочном скотоводстве. Предложенные соискателем подходы в кластеризации, позволили установить значительную

дифференциацию стран по признакам молочной продуктивности голштинского скота, различающихся по достигнутому уровню продуктивности коров и селекционным стратегиям.

Выполненное моделирование изменчивости удоя с использованием смешанных регрессионных моделей показало значимую роль как фиксированных (год и сезон отёла/запуска), так и случайных эффектов (идентификационные данные животного, отец, лактация, возраст). Автором установлено, что наибольшее влияние на изменчивость удоя оказывают факторы «Год отела» и «Сезон отела». Разработанная соискателем модель обеспечивает высокую точность прогноза ($R^2=0,819$), что подтверждается регрессионной зависимостью эмпирических и прогнозируемых значений показателей молочной продуктивности коров.

Проведенный анализ генетической структуры черно-пестрого скота Западной Сибири с использованием микросателлитных профилей позволил автору выявить высокий уровень полиморфизма и генетического разнообразия в подконтрольной популяции породы. Из 12 локусов стандартной панели ISAG выявлено 47 аллельных вариантов. Наиболее полиморфными оказались локусы TGLA122, TGLA227 и TGLA53, демонстрирующие наибольшее количество аллелей и высокий уровень полиморфизма, в то время как локус SPS115 показал наименьшее разнообразие.

Кластеризация, проведенная автором диссертационной работы, племенных предприятий федерального округа по сходству использования быков позволила выделить группы хозяйств, демонстрирующих общие стратегии племенной работы и источники приобретения племенного материала для организации воспроизводства племенных животных. В результате проведенных исследований были идентифицированы группы, отражающие хозяйства с едиными селекционными подходами и общими источниками племенного материала, а также кластер, указывающий на наличие лидирующего предприятия подконтрольной зоны, задающего тренды в регионе, и группа, выделяющая предприятия с собственной, отличной от других, стратегией племенной работы. Выполненная

кластеризация позволила соискателю идентифицировать структуру генетических связей, обусловленную современными племенными практиками и обменом генетическим материалом между хозяйствами.

Выполненный автором анализ генетической изменчивости подконтрольной популяции черно-пестрого скота по 64 SNP-локусам, ассоциированным с признаками молочной продуктивности, позволил выявить существенную вариабельность между исследованными SNP. Показано, что частота минорного аллеля (MAF) варьирует в широком диапазоне: от 0,06 (ARS-BFGL-NGS-107749) до 0,5 (ARS-BFGL-NGS-71395), что свидетельствует о наличии в популяции, как редких генетических вариантов, так и более распространенных полиморфизмов. Для большинства SNP значение MAF находилось в диапазоне от 0,15 до 0,30, что может указывать на адаптивную роль данных полиморфизмов или нейтральность по отношению к давлению искусственного отбора. В целом, анализ генетической структуры популяции черно-пестрого скота Сибири по SNP-локусам, ассоциированным с признаками молочной продуктивности, выявил текущий уровень генетического разнообразия и наличие SNP, потенциально связанных с генами, влияющими на течение обменных процессов организма и, как следствие, на уровень молочной продуктивности коров.

Сформулированные Петровым А.Ф. научные положения, выводы и предложения производству обоснованы и вытекают из результатов собственных исследований. Все задачи, поставленные соискателем при выполнении диссертационной работы, успешно решены, что дает основание данную диссертацию считать законченным научным трудом.

Содержание автореферата в достаточной степени отражает основные положения диссертации. Автореферат и диссертация соответствуют требованиям пункта 9 «Положение о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Оценивая в целом положительно диссертационную работу Петрова А.Ф., считаю возможным обратить внимание автора на следующие

замечания и пожелания:

1. Темой диссертационной работы соискателя заявлено, что объектом исследований являются животные черно-пестрой породы (общероссийский кодификатор 30), а на странице 56 диссертации указано, что материалом для исследований генетической структуры SNP служили образцы биологического материала от 100 животных голштинской породы крупного рогатого скота (общероссийский кодификатор 32). Более того, на 98 странице диссертации автором сделан вывод «о значительной гетерогенности исследуемой популяции голштинского скота».

2. В связи с тем, что на странице 44 диссертации автором указано, что были использованы данные о фенотипах, генотипах и генеалогии у черно-пестрого скота, прошу пояснить – а каковы были результаты породной инвентаризации подконтрольных стад, проведение которой для селекционеров племенных хозяйств региона является обязательным мероприятием, так как животные указанного происхождения включены в число генофондных пород молочного скота России.

3. Хотелось бы получить от автора разъяснения по обоснованности критерия минимальной границы фильтрации входящих показателей молочной продуктивности подконтрольных коров черно-пестрой породы (таблица 1 на 52 странице диссертации): по массовой доли жира в молоке коров (на уровне 3,60%) и по массовой доли белка в молоке коров (на уровне 3,00%), тогда как указанные данные, по действующей бонитировке молочного скота, являются стандартными для животных указанного происхождения.

4. Также прошу пояснить, почему в таблице 7 (83 страница диссертации) в качестве медианного значения параметра «сухостойный период» указано его отрицательное значение (на уровне «- 1,2»).

5. Прошу пояснить, почему исходя из темы диссертационной работы автором в разделе «3.1.2 Генеалогическая структура черно-пестрого скота Западной Сибири» не представлены данные по основным этапам формирования генеалогической структуры подконтрольной популяции и

результаты ее мониторинга?

6. Вызывает сомнение, что в столбцах 3 и 7 таблицы 12 (101 страница диссертации) представлено абсолютное значение показателя «Число аллелей».

7. В качестве пожеланий хотелось предложить вместо использованных терминов «процентное содержание жира, процентное содержание белка» применять классификацию учетных показателей согласно действующему ГОСТ Р 520054-2023 (Молоко коровье сырое).

Вышеперечисленные замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку представленной работы и не снижают ее научную и практическую значимость.

Заключение. Диссертация Петрова Алексея Федоровича «Генеалогическая и генетическая структура черно-пестрого скота Западной Сибири» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи по интенсификации современного этапа селекционного процесса в отечественном молочном животноводстве, имеющая решающее значение для развития теории и подходов формирования и ведения больших баз данных, особенно для целей раннего прогнозирования племенной ценности в системе расширенного воспроизводства племенного материала.

Выполненная работа соответствует критериям, предъявляемым в отношении кандидатских диссертаций, которые установлены п.п. 9-14 Положения о порядке присуждения учёных степеней (утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842), а ее автор Петров Алексей Федорович заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук по специальности 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных.

Официальный оппонент, доктор сельскохозяйственных наук, специальность 4.2.5. Приморский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра комплексного

