

УДК 636. 2.034:519.87

Научная статья



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-396-07-77-84

Карликова Г.Г.¹ ✉Лашнева И.А.¹Сермягин А.А.²

¹Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, Подольск, Московская обл., Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста», Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

✉ karlikovagalina@yandex.ru

Поступила в редакцию: 26.02.2025

Одобрена после рецензирования: 10.06.2025

Принята к публикации: 25.06.2025

© Карликова Г.Г., Лашнева И.А., Сермягин А.А.

Research article



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-396-07-77-84

Galina G. Karlikova¹ ✉Irina A. Lashneva¹Alexander A. Sermyagin²

¹L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Podolsk, Moscow Region, Russia

²Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Pushkin, St. Petersburg, Russia

✉ karlikovagalina@yandex.ru

Received by the editorial office: 26.02.2025

Accepted in revised: 10.06.2025

Accepted for publication: 25.06.2025

© Karlikova G.G., Lashneva I.A., Sermyagin A.A.

Моделирование лактационных кривых удоя, компонентов молока и метаболитов обмена веществ коров голштинской породы

РЕЗЮМЕ

В последние годы встречается множество исследований популяционного характера, посвященных анализу компонентного состава молока коров, нацеленных на более детальное изучение изменчивости показателей под влиянием генетических и средовых факторов. Исследовательскую базу составили наблюдения из 14 племенных стад голштинского скота. Популяционно-генетические исследования компонентов состава молока коров проводили в периоды контрольных доений (общее число образцов молока более 36 тыс. шт.). С показателями таких биомаркеров, как ацетон, БГБ и мочевины, были исследованы 11,5 тыс. голов животных. На основе использования нелинейной функции проведено моделирование лактационных кривых суточного удоя, основных компонентов молока и метаболитов обмена веществ. Стандартная форма описания лактационной кривой показала самый большой уровень точности — 93,5%, в то же время процентное содержание жира и белка описывает обратные формы. Коэффициент детерминации содержания массовой доли белка в течение лактации составил 83,9%, а жира — лишь 63,7%. Вместе с тем процент достоверности модели лактационной кривой содержания массовой доли лактозы составил 68,4%. Содержание следов молярной концентрации мочевины в молоке моделируется несколько хуже, а коэффициент детерминации равен 46,8%. Достоверность модели стандартных лактационных кривых для следов ацетона и БГБ в молоке коров голштинской породы составила 41,6% и 26,0% соответственно. Результаты анализа динамики изменения удоя и применение разработанных регрессионных уравнений лактационных кривых продемонстрировали перспективность их использования для низконаследуемых признаков с целью определения функциональных качеств животных в разрезе течения лактации по периодам.

Ключевые слова: надои, продолжительность лактации, кривая лактации, математическая модель, компоненты молока, метаболизм

Для цитирования: Карликова Г.Г., Лашнева И.А., Сермягин А.А. Моделирование лактационных кривых удоя, компонентов молока и метаболитов обмена веществ коров голштинской породы. *Аграрная наука*. 2025; 396 (07): 77–84. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-77-84>

Modeling of milk yield lactation curves, milk components, and metabolic metabolites of Holstein cows

ABSTRACT

In recent years, there have been many population-based studies devoted to the analysis of the component composition of cow's milk, aimed at a more detailed study of the variability of indicators under the influence of genetic and environmental factors. The research base consisted of observations from 14 breeding herds of Holstein cattle. Population-genetic studies of the components of cow's milk were carried out during the control milking periods (the total number of milk samples is more than 36 thousand pieces). 11.5 thousand heads of animals were examined with indicators of biomarkers such as acetone, BGB and urea. Based on the use of a nonlinear function, the lactation curves of daily milk yield, the main components of milk and metabolites of metabolism were modeled. The standard form of the lactation curve description showed the highest level of accuracy — 93.5%, while the percentage of fat and protein describe the opposite forms. The coefficient of determination of the content of the mass fraction of protein during lactation was 83.9%, and fat — only 63.7%. At the same time, the percentage of reliability of the lactation curve model for the content of the mass fraction of lactose was 68.4%. The content of traces of molar urea concentration in milk is modeled somewhat worse, and the coefficient of determination is 46.8%. The reliability of the model of standard lactation curves for traces of acetone and BGB in the milk of Holstein cows was 41.6% and 26.0%, respectively. The results of the analysis of the dynamics of milk yield changes and the application of the developed regression equations of lactation curves demonstrated the prospects of their use for low-heritable traits in order to determine the functional qualities of animals in the context of the course of lactation by period.

Key words: milk yield, lactation duration, lactation curve, mathematical model, milk components, metabolism

For citation: Karlikova G.G., Lashneva I.A., Sermyagin A.A. Modeling of milk yield lactation curves, milk components, and metabolic metabolites of Holstein cows. *Agrarian science*. 2025; 396 (07): 77–84 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-77-84>

Введение/Introduction

Оптимизация молочной продуктивности коров является важным аспектом повышения эффективности молочного скотоводства. Повышение продуктивности и генетического потенциала скота наряду с улучшением технологических характеристик животных дает возможность селекционерам разрабатывать новые генотипы, которые объединяют продуктивные, экстерьерные, функциональные показатели здоровья и воспроизводительные качества. Расширение диапазона генетических параметров для выявления ключевых генов, влияющих на продуктивность, открывает новые горизонты для организации селекционно-племенной работы в молочном скотоводстве, что способствует дальнейшему развитию этой отрасли [1, 2].

Включение дополнительных параметров для оценки как количественного, так и качественного состава молока коров может значительно улучшить реализацию генетического потенциала животных. Это достигается путем контроля и корректировки условий среды, что способствует нормализации обмена веществ, улучшению воспроизводительных качеств и продлению срока продуктивного использования коров [3–5].

Генетическая изменчивость различных компонентов молока коров составляет от 7 до 30%, что открывает новые перспективы для селекционной работы. Несмотря на то что такие показатели, как содержание мочевины, ацетона и бета-гидроксимасляной кислоты, могут казаться менее значимыми для селекции, они отражают реакцию животных на изменения в рационе, обмен веществ и технологические параметры производства молока. Это подчеркивает важность комплексного подхода к оценке молочной продуктивности, учитывающего не только традиционные показатели, но и более тонкие метаболические реакции. Включение этих данных в селекционные программы может способствовать созданию более адаптированных и продуктивных генотипов, что в свою очередь повысит общую эффективность молочного животноводства [6].

Популяционный мониторинг играет ключевую роль в отборе наиболее устойчивых и адаптированных коров, что является важным аспектом в селекционном процессе. Для эффективного контроля состава молока необходимо уделять внимание экономическим показателям, таким как уровень содержания жира и белка, а также количеству соматических клеток. Эти параметры не только отражают качество молока, но и служат индикаторами здоровья животных и их способности адаптироваться к различным условиям содержания. Таким образом, комплексный подход к оценке как количественного, так и качественного состава молока (с акцентом на экономические показатели) будет способствовать улучшению результатов молочного животноводства [4].

Традиционный отбор животных по жирномолочности остается важным для удовлетворения

рынка основными молочными продуктами. Увеличение продуктивности может привести к напряжению физиологического статуса организма коров и нарастанию метаболического стресса [7]. Интеграция популяционного мониторинга и контроля компонентного состава молока может значительно улучшить селекционные программы. Это позволит создать более адаптированные генотипы, способные эффективно реагировать на изменения в рационе и условиях содержания, что в конечном итоге повысит продуктивность и устойчивость молочного стада. Комплексный подход к оценке взаимодействия генотипа и среды станет ключом к успешному развитию молочного животноводства.

Для более глубокого понимания возможностей использования расширенного компонентного состава молока коров мы определили функциональные параметры ряда биомаркеров, которые могут существенно повлиять на качество и безопасность молочной продукции. Одним из ключевых показателей является массовая доля лактозы, которая не только определяет энергетическую ценность молока, но и влияет на его вкусовые качества. Высокое содержание лактозы может свидетельствовать о хорошем состоянии здоровья коров и их способности к эффективному обмену веществ.

Субклинический кетоз часто остается незамеченным, однако его последствия могут быть значительными, включая снижение молочной продуктивности и ухудшение общего состояния здоровья животных. Поэтому регулярный анализ концентрации ацетона и БГБ в молоке позволяет фермерам своевременно выявлять потенциальные проблемы и вносить необходимые коррективы в рацион или условия содержания. Мониторинг ацетона и БГБ является важным инструментом для поддержания здоровья коров и устойчивого развития молочного животноводства. В последние годы зарубежная литература содержит множество исследований, посвященных анализу компонентного состава молока коров с использованием инфракрасной спектроскопии [8–10].

Стоит отметить, что концентрация ацетона и бета-гидроксibuтирата (БГБ) в молоке коров представляет собой важные маркеры, которые позволяют эффективно мониторить риск возникновения субклинической формы кетоза. Эти вещества играют ключевую роль в оценке обмена веществ у животных. Повышенные уровни ацетона и БГБ могут указывать на нарушения в метаболических процессах, что может привести к серьезным последствиям для здоровья коров и их продуктивности.

Работы направлены на более детальное изучение показателей молока, их изменчивости под влиянием генетических и средовых факторов и носят популяционный характер. По определению этих метаболитов обмена веществ в молоке (мочевина, ацетон, БГБ) для прогнозирования

физиологического статуса животных встречается много публикаций [11–14].

Вместе с тем использование данных о функциональных параметрах биомаркеров в практике молочного животноводства позволит не только повысить качество молока, но и улучшить здоровье и продуктивность коров, что является важным шагом к устойчивому развитию отрасли.

Цель работы — оценка изменчивости показателей компонентного состава молока в течение лактации для стандартизации описания параметров лактационной деятельности коров при применении уравнений динамики.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов¹. При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов. На основе популяционных наблюдений в племенных хозяйствах Московской области была сформирована база данных продуктивных характеристик крупного рогатого скота голштинской породы. В объединенную исследовательскую базу были включены данные контрольных доек 11 529 коров из 14 племенных стад голштинского скота с 2018 по 2023 год, объединенные с массивом информации о племенном учете из ИАС «Селэкс. Молочный скот» (Россия).

Анализ компонентного состава сырого молока коров осуществляли в аккредитованных лабораториях селекционного контроля качества молока, таких как АО «Московское» по племенной работе (г. Ногинск, Московская обл., Россия) и ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста (пос. Дубровицы, Подольск, Московская обл., Россия).

Достоверность полученных результатов была обеспечена за счет индивидуального отбора проб и строгого соблюдения регламентированных процедур отбора образцов².

Пробы молока для популяционного анализа отбирались специалистами хозяйств в течение всего периода наблюдений от лактирующих животных в течение лактации вне зависимости от сезона года. Контроль за качеством отбора проб молока в племенных стадах осуществляла контроль-ассистентская служба Союз «Мосплем» (г. Ногинск, Московская обл., Россия) однократно в месяц в течение года.

Отбор проб молока осуществляли специалисты сельскохозяйственных предприятий в соответствии с регламентом Министерства сельского хозяйства РФ³.

Лабораторные анализы проводили с использованием CombiFoss (FOSS, Дания). Были обработаны результаты исследований 36 982 проб молока, анализ биомаркеров обмена веществ, таких как ацетон, бета-гидроксibuтират (БГБ) и мочевины, были проведены на 11 529 головах скота.

Созданная авторами база данных компонентного состава молока стала основой для изучения популяционно-генетических параметров и определения изменчивости содержания в молоке МДЖ (массовой доли жира), МДБ (массовой доли белка), МДЛ (массовой доли лактозы), следов ацетона и БГБ (бета-гидроксibuтирата), а также концентрации мочевины. Номер лактации, как отдельный фактор, в расчетах не учитывался, но был учтен в рамках индивидуального среднего (p_0), представляющего собой совокупность факторов, влияющих на пиковую продуктивность животного, в том числе и номер лактации.

Для выявления популяционных закономерностей и определения стандартных форм изменчивости компонентов молока, а также для построения лактационных кривых была выбрана и применена нелинейная регрессионная функция [14]:

$$y_t = p_0 + p_1 \gamma_t + p_2 \gamma_t^2 + p_3 w_t + p_4 w_t^2 + e_t, \quad (1)$$

где: y_t — суточный показатель удоя (компонента молока) на контрольный день t ; $\gamma_t = t/305$, $w_t = \ln(305/t)$; p_0 — коэффициент, связанный с пиковым значением удоя (показателя); p_3 и p_4 — коэффициенты, отвечающие за увеличение наклона кривой (рост показателя); p_1 и p_2 — коэффициенты, отвечающие за снижение наклона кривой (падение показателя); t — контрольный день; e — случайная ошибка модели.

Разработанные уравнения моделей лактационных кривых были рассчитаны на основе параметров средней продуктивности по каждому из стад и маркеров обмена веществ животных. Модель была адаптирована к данным, соответствующим стандартной лактационной кривой.

Для анализа экспериментальных данных были задействованы общепризнанные статистические методы вариационной статистики с помощью офисного программного комплекса Microsoft Office (Microsoft, США) с применением Excel 2013 (Microsoft, США) с использованием специального

¹ Модельный закон «Об обращении с животными»: принят на 29-м пленарном заседании Межпарламентской ассамблеи государств — участников СНГ (Постановление от 31 октября 2007 года № 29-17). Информационный бюллетень Межпарламентской ассамблеи государств — участников СНГ. 2007; 41: 49.

² ГОСТ 26809.1-2014 Молоко и молочная продукция.

³ Приказ МСХ от 01.02.2011 № 25 «Об утверждении правил ведения учета в племенном скотоводстве молочного и молочно-мясного направлений продуктивности».

программного обеспечения данных в Statistica 10 (Stat Soft Inc., США), BLUPF90 (I. Misztal, University of Georgia, USA), Genome Studio 2.0 (Illumina Inc., USA).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На основе нелинейной функции Ali-Schaeffer была проведена модельная оценка лактационной кривой, охватывающая суточный удой, основные компоненты молока, такие как массовая доля жира, белка и лактозы, а также метаболиты обмена веществ, включая следы ацетона и бета-гидроксипутирата в логарифмическом выражении, а также концентрацию мочевины. В результате анализа установлено, что удой за 305 дней лактации составляет 7898 кг молока при среднесуточном удое в 25,9 кг. Максимальный удой достигается на 50-й день лактации и составляет 33,0 кг. Кроме того, были определены ключевые показатели качества молока: жирномолочность — 4,48%, белкомолочность — 3,41%, процент лактозы — 4,86%. Средняя концентрация мочевины в молоке равна 26,9 мг × 100 мл⁻¹, уровень ацетона в нормированном выражении (логарифм) составляет 2,13, а бета-гидроксипутират (БГБ) — 1,81.

В результате исследования была установлена продолжительность лактации для популяции скота Московской области, которая составила в среднем 350 дней для всех изучаемых показателей в динамике лактации.

Для суточного удоя было разработано уравнение, которое описывало форму лактационной кривой:

$$y_t = 65,05 + (-64,04 \gamma_t) + 18,50 \gamma_t^2 + (-16,24 w_t) + 1,46 w_t^2 + e_t, \quad (2)$$

где: y_t — суточный показатель удоя (компонента молока) на контрольный день t ; $\gamma_t = t/305$; $w_t = \ln(305/t)$; e_t — случайная ошибка модели.

Достоверность модели оценки лактационной кривой была подтверждена с помощью коэффициента детерминации (R^2), который показывает, какую долю дисперсии результирующего признака объясняют независимые переменные. В результате анализа стандартной формы, использованной для описания лактационной кривой, был достигнут высокий уровень

точности — 93,5%. Анализ лактационной кривой удоя показал, что после первых недель лактации, когда происходят кратковременные гормональные изменения, вызванные рождением теленка, уровень удоя становится стабильным и перестает существенно варьировать. Это математическое выражение позволяет значительно повысить точность расчета удоя молока за весь период лактации коров голштинской породы в популяции Московского региона. Даже в условиях, когда имеются пропущенные или отсутствующие контрольные доения (рис. 1).

Количество контрольных дней за всю лактацию может быть минимизировано при условии сохранения необходимой частоты отбора проб в начале лактации и сокращения количества отбора проб в конце. В результате вместо 9–10 учетных записей продуктивности на животное за лактацию их количество может быть уменьшено до 4–5, что соответствует практике, принятой в некоторых европейских странах в соответствии с протоколом ICAR⁴.

Обычно изучение взаимосвязей между математическими свойствами функций, используемых для моделирования лактационных кривых, ограничивается оценкой степени соответствия. Лактационные кривые, отклоняющиеся от стандартных форм, считаются нетипичными, и потенциальные проблемы, связанные с их появлением на практике, игнорируются [15].

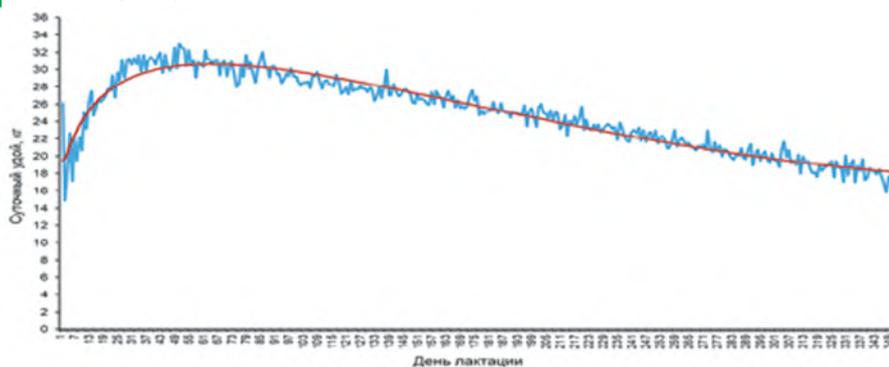
Для массовой доли жира разработано следующее уравнение:

$$y_t = 1,55 + 4,66 \gamma_t + (-1,54 \gamma_t^2) + 1,43 w_t + (-0,16 w_t^2) + e_t, \quad (3)$$

где: y_t — суточный показатель удоя (компонента молока) на контрольный день t ; $\gamma_t = t/305$; $w_t = \ln(305/t)$; e_t — случайная ошибка модели.

Рис. 1. Регрессионная модель стандартной лактационной кривой суточного удоя коров голштинской породы исследуемой выборки

Fig. 1. Regression model of the standard lactation curve of the daily milk yield of Holstein cows in the study sample



⁴ ICAR. Раздел 2. Руководство по учету надоев молока молочного скота. Учет надоев молока крупного рогатого скота. Сеть. Руководство. Сертификация. Версия по состоянию на октябрь 2017 г. 31 с.

Аппроксимирующая кривая массовых долей жира и белка в молоке коров голштинской породы исследуемой выборки представлена на рисунке 2.

Для массовой доли белка разработано следующее уравнение:

$$y_t = 1,68 + 2,90 \gamma_t + (-1,00 \gamma_t^2) + 0,76 w_t + (-0,07 w_t^2) + e_t, \quad (4)$$

где: y_t — суточный показатель удоя (компонента молока) на контрольный день t ; $\gamma_t = t/305$; $w_t = \ln(305/t)$; e_t — случайная ошибка модели.

Анализ данных (рис. 1, 2) показывает, что удой хорошо моделируется стандартной формой лактационной кривой, в то время как процентное содержание жира и белка в молоке характеризуется обратной зависимостью. Лактационная кривая, описывающая содержание жира и белка, не демонстрирует резких колебаний, однако имеет локальный минимум в момент достижения максимального удоя молока. В течение первых недель лактации наблюдаются максимальная жирность молока и высокое содержание белка, что подтверждается графическими данными.

Коэффициент детерминации (R^2) для описания процентного содержания массовой доли жира в молоке оказался менее точным и составил всего 63,7%.

Рис. 2. Регрессионные модели стандартных лактационных кривых массовой доли жира (серый цвет, верхний тренд) и белка (зеленый цвет, нижний тренд) коров голштинской породы исследуемой выборки

Fig. 2. Regression models of standard lactation curves for the mass fraction of fat (gray, upper trend) and protein (green, lower trend) of Holstein cows in the study sample

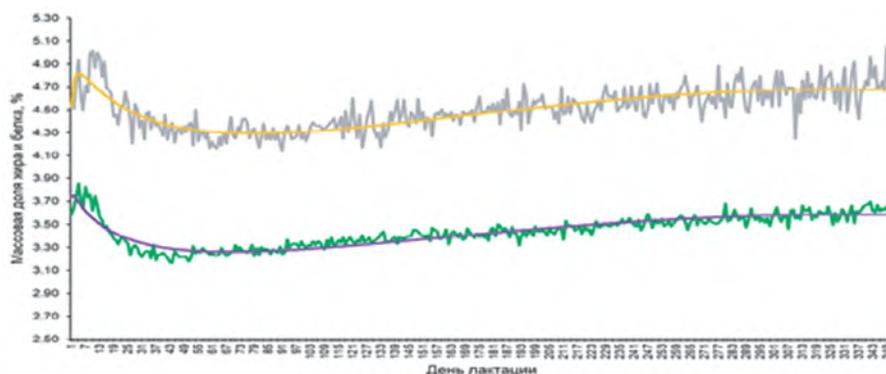
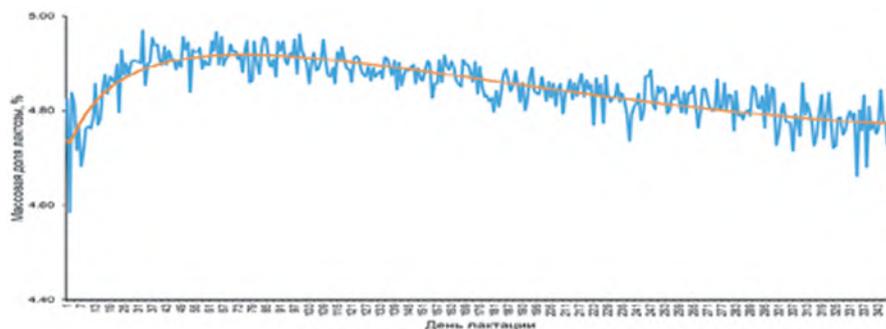


Рис. 3. Регрессионная модель стандартной лактационной кривой массовой доли лактозы в молоке коров голштинской породы исследуемой выборки

Fig. 3. Regression model of the standard lactation curve of the mass fraction of lactose in the milk of Holstein cows in the study sample



Для описания достоверности процентного содержания массовой доли белка в молоке коэффициент детерминации составил 83,9%.

Снижение удоя, как правило, происходит быстрее, что в свою очередь приводит к тому, что к концу лактации в молоке возрастает массовая доля жира и белка.

Для массовой доли лактозы разработано следующее уравнение в форме модели лактационной кривой:

$$y_t = 5,48 + (-0,98 \gamma_t) + 0,28 \gamma_t^2 + (-0,28 w_t) + 0,03 w_t^2 + e_t, \quad (5)$$

где: y_t — суточный показатель удоя (компонента молока) на контрольный день t ; $\gamma_t = t/305$; $w_t = \ln(305/t)$; e_t — случайная ошибка модели.

Аппроксимирующая кривая массовой доли лактозы за лактацию характеризуется более сглаженной формой по сравнению со стандартной моделью лактационной кривой суточного удоя (рис. 3).

Достоверность модели лактационной кривой содержания массовой доли лактозы в молоке составила 68,4%.

Согласно данным A. Costa, изменения в количественном содержании процента лактозы в молоке могут использоваться в качестве индикаторов функциональных особенностей крупного рогатого скота голштинской породы и биологической

взаимосвязи с наличием мастита у коров [16]. Это подчеркивает потенциальную значимость лактозы как биомаркера для оценки здоровья животных.

Исследование компонентного состава было вызвано необходимостью оценить их изменчивость в течение лактации для стандартизации описания параметров лактационной активности коров и разработки уравнения динамики, включая показатели с низкой наследуемостью.

Указанные биомаркеры демонстрируют низкую генетическую изменчивость, за исключением мочевины.

Таким образом, наряду с селекционными мероприятиями по отбору животных на основе признаков здоровья, таких как продуктивное долголетие, важно проводить параллельный мониторинг

структуры рациона, технологических аспектов содержания скота и общего управления стадом.

Для молярной концентрации мочевины разработано следующее уравнение:

$$y_t = 2,99 + 45,03\gamma_t + (-20,22\gamma_t^2) + 10,36w_t + (-1,13w_t^2) + e_t, \quad (6)$$

где: y_t — суточный показатель удоя (компонента молока) на контрольный день t ; $\gamma_t = t/305$; $w_t = \ln(305/t)$; e_t — случайная ошибка модели.

Настоящее исследование показало, что содержание следов молярной концентрации мочевины в молоке моделируется несколько хуже, чем другие показатели молока, и описывает нетипичную обратную форму (рис. 4).

Коэффициент детерминации для описания содержания следов молярной концентрации мочевины в молоке оказался равным 46,8%.

В качестве биомаркеров для выявления субклинической и клинической форм кетоза у коров голштинской породы на популяционном уровне в Московской области было изучено распределение следов бета-гидроксибутирата (БГБ) и ацетона в молоке (рис. 5).

Рис. 4. Регрессионная модель стандартной лактационной кривой концентрации мочевины в молоке коров голштинской породы исследуемой выборки

Fig. 4. Regression model of the standard lactation curves for traces of urea concentration in the milk of Holstein cows of the studied sample

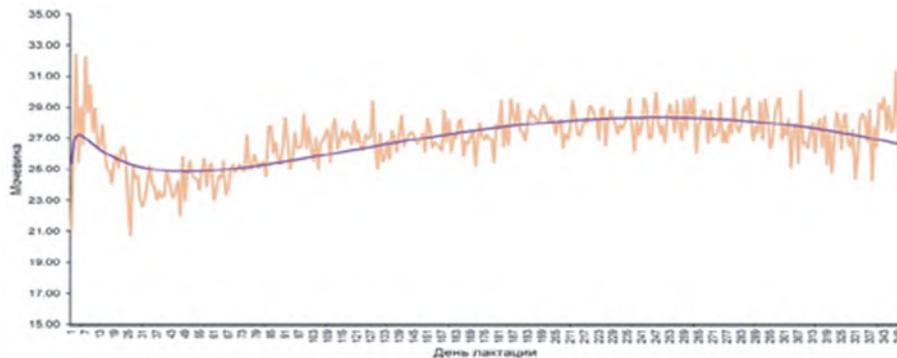
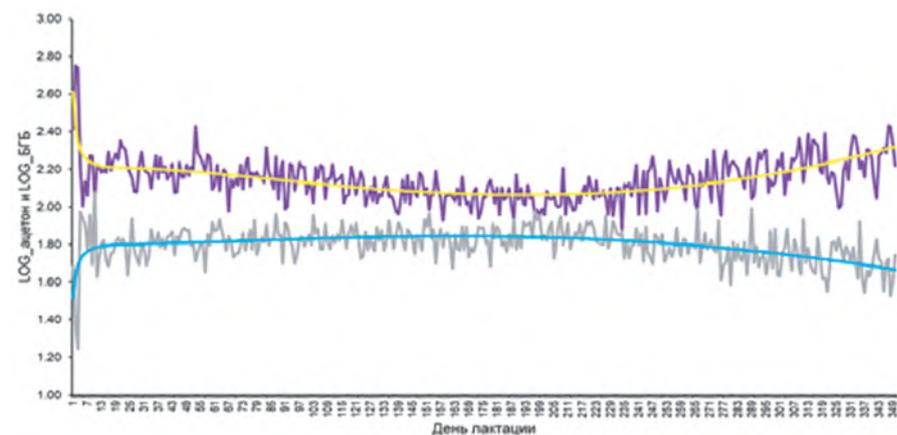


Рис. 5. Регрессионные модели стандартных лактационных кривых для следов ацетона (фиолетовый цвет, верхний тренд) и БГБ (логарифмическое преобразование) (серый цвет, нижний тренд) в молоке коров голштинской породы исследуемой выборки

Fig. 5. Regression models of standard lactation curves for traces of acetone (purple color, top trend) and BGB (logarithmic transformation) (gray color, downtrend) in the milk of Holstein cows in the study sample



Для следов ацетона в логарифмическом выражении разработано следующее уравнение:

$$y_t = 3,23 + (-2,28\gamma_t) + 1,24\gamma_t^2 + (-0,52w_t) + 0,07w_t^2 + e_t, \quad (7)$$

где: y_t — суточный показатель удоя (компонента молока) на контрольный день t ; $\gamma_t = t/305$; $w_t = \ln(305/t)$; e_t — случайная ошибка модели.

Для следов БГБ в логарифмическом выражении разработано следующее уравнение:

$$y_t = 1,27 + 1,12\gamma_t + (-0,64\gamma_t^2) + 0,28w_t + (-0,04w_t^2) + e_t, \quad (8)$$

где: y_t — суточный показатель удоя (компонента молока) на контрольный день t ; $\gamma_t = t/305$; $w_t = \ln(305/t)$; e_t — случайная ошибка модели.

В ходе исследования было установлено, что в исследуемой выборке популяции скота Московской области доля здоровых животных, соответствующих минимальному порогу ацетона в молоке до 0,30 мМоль/л, составила 52,9%. Доля коров в стадах с возможными формами кетоза

распределилась следующим образом: субклиническая форма — 42,5%, клиническая — 4,6%.

Достоверность модели стандартных лактационных кривых для следов ацетона и бета-гидроксибутирата (БГБ) в молоке коров голштинской породы была установлена на уровне 41,6% и 26,0% соответственно.

Следует отметить, что наименьшие коэффициенты детерминации моделей, которые составили менее 50%, были зафиксированы для таких биомаркеров обмена веществ, как бета-гидроксибутират (БГБ), ацетон и мочевины. Это, вероятно, связано с высокой фенотипической изменчивостью этих показателей, что обусловлено значительным влиянием средовых эффектов на их уровень. Кроме того, активная вовлеченность этих биомаркеров в метаболические процессы организма лактирующих коров может способствовать их изменчивости.

Выводы/Conclusions

В результате проведенной оценки динамики изменения удоя и разработки регрессионных уравнений лактационных кривых для низконаследуемых признаков, таких как ацетон, бета-гидроксибутират (БГБ) и мочевины, определена перспективность их использования для характеристики функциональных качеств лактирующих коров. Эти биомаркеры, обладая высокой фенотипической изменчивостью, могут служить важными индикаторами состояния здоровья животных в зависимости от периода лактации.

Включение данных биомаркеров в программы управления стадом коров голштинской породы позволит осуществлять более эффективный мониторинг состояния животных. Это в свою очередь окажет положительное влияние как на общую продуктивность, так и на воспроизводительные качества коров. Мониторинг компонентного

состава молока внутри популяции предоставляет возможность определить оптимальные уровни содержания метаболитов обмена веществ, что является ключевым для реализации продуктивного потенциала животных.

Учитывая, что наименьшие коэффициенты детерминации моделей были зафиксированы для биомаркеров обмена веществ, таких как БГБ, ацетон и мочевины, необходимо продолжать исследования в этой области. Это позволит улучшить модели и повысить их точность, что в конечном итоге будет способствовать более эффективному управлению стадом и улучшению здоровья коров в период лактации.

Таким образом, дальнейшие исследования и внедрение новых методов мониторинга могут значительно повысить эффективность животноводства и обеспечить устойчивое развитие отрасли.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках госзадания FGGN-2024-0013.

FUNDING

The study was carried out within the framework of the state task FGGN-2024-0013.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудинов А.А., Смарагдов М.Г. Выявление QTLs у молочного скота полногеномным ассоциативным анализом. *Генетика и разведение животных*. 2018; (1): 22–27. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2018-1-22-27>
2. Сермягин А.А., Быкова О.А., Лоретц О.Г., Костюнина О.В., Зиновьева Н.А. Оценка геномной вариабельности продуктивных признаков у животных голштинизированной черно-пестрой породы на основе GWAS анализа и ROH паттернов. *Сельскохозяйственная биология*. 2020; 55(2): 257–274. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.257rus>
3. Zaalberg R.M., Shetty N., Janss L., Buitenhuis A.J. Genetic analysis of Fourier transform infrared milk spectra in Danish Holstein and Danish Jersey. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102(1): 503–510. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14464>
4. Costa A. *et al.* Invited review: Milk lactose — Current status and future challenges in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102(7): 5883–5898. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15955>
5. Otwinowska-Mindur A., Ptak E., Makulska J., Jarnecka O. Modelling Extended Lactations in Polish Holstein–Friesian Cows. *Animals*. 2021; 11(8): 2176. <https://doi.org/10.3390/ani11082176>
6. Ковальчук С.Н. Гены-кандидаты устойчивости крупного рогатого скота к маститу (обзор). *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2021; (3): 20–31. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbio.2021.3.20-31>
7. Delhez P., Colinet F., Vanderick S., Bertozzi C., Gengler N., Soyeyrt H. Predicting milk mid-infrared spectra from first-parity Holstein cows using a test-day mixed model with the perspective of herd management. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(7): 6258–6270. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17717>
8. Du C. *et al.* Genetic Analysis of Milk Production Traits and Mid-Infrared Spectra in Chinese Holstein Population. *Animals*. 2020; 10(1): 139. <https://doi.org/10.3390/ani10010139>
9. Tiplady K.M. *et al.* Comparison of the genetic characteristics of directly measured and Fourier-transform mid-infrared-predicted bovine milk fatty acids and proteins. *Journal of Dairy Science*. 2022; 105(12): 9763–9791. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22089>
10. Kostensalo J. *et al.* Short communication: Predicting blood plasma non-esterified fatty acid and beta-hydroxybutyrate concentrations from cow milk—addressing systematic issues in modelling. *Animal*. 2023; 17(9): 100912. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100912>

REFERENCES

1. Kudinov A.A., Smaragdov M.G. Identification of QTLs in dairy cattle by wide-genome associative analysis. *Genetics and breeding of animals*. 2018; (1): 22–27 (in Russian). <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2018-1-22-27>
2. Sermyagin A.A., Bykova O.A., Lorets O.G., Kostyunina O.V., Zinovieva N.A. Genomic variability assess for breeding traits in holsteinized Russian Black-and-White cattle using GWAS analysis and ROH patterns. *Agricultural Biology*. 2020; 55(2): 257–274. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.257eng>
3. Zaalberg R.M., Shetty N., Janss L., Buitenhuis A.J. Genetic analysis of Fourier transform infrared milk spectra in Danish Holstein and Danish Jersey. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102(1): 503–510. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14464>
4. Costa A. *et al.* Invited review: Milk lactose — Current status and future challenges in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102(7): 5883–5898. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15955>
5. Otwinowska-Mindur A., Ptak E., Makulska J., Jarnecka O. Modelling Extended Lactations in Polish Holstein–Friesian Cows. *Animals*. 2021; 11(8): 2176. <https://doi.org/10.3390/ani11082176>
6. Kovalchuk S.N. Candidate genes for mastitis resistance in cattle: a review. *Problems of Productive Animal Biology*. 2021; (3): 20–31 (in Russian). <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbio.2021.3.20-31>
7. Delhez P., Colinet F., Vanderick S., Bertozzi C., Gengler N., Soyeyrt H. Predicting milk mid-infrared spectra from first-parity Holstein cows using a test-day mixed model with the perspective of herd management. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(7): 6258–6270. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17717>
8. Du C. *et al.* Genetic Analysis of Milk Production Traits and Mid-Infrared Spectra in Chinese Holstein Population. *Animals*. 2020; 10(1): 139. <https://doi.org/10.3390/ani10010139>
9. Tiplady K.M. *et al.* Comparison of the genetic characteristics of directly measured and Fourier-transform mid-infrared-predicted bovine milk fatty acids and proteins. *Journal of Dairy Science*. 2022; 105(12): 9763–9791. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22089>
10. Kostensalo J. *et al.* Short communication: Predicting blood plasma non-esterified fatty acid and beta-hydroxybutyrate concentrations from cow milk—addressing systematic issues in modelling. *Animal*. 2023; 17(9): 100912. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100912>

11. Buitenhuis A.J., Poulsen N.A. Estimation of heritability for milk urea and genetic correlations with milk production traits in 3 Danish dairy breeds. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106(8): 5562–5569. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22798>

12. Alemu T.W., Santschi D.E., Cue R.I., Duggavathi R. Reproductive performance of lactating dairy cows with elevated milk β -hydroxybutyrate levels during first 6 weeks of lactation. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106(7): 5165–5181. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22406>

13. Shetty N., Difford G., Lassen J., Løvendahl P., Buitenhuis A.J. Predicting methane emissions of lactating Danish Holstein cows using Fourier transform mid-infrared spectroscopy of milk. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(11): 9052–9060. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13014>

14. Ali T.E., Schaeffer L.R. Accounting for covariances among test day milk yields in dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*. 1987; 67(3): 637–644.

15. Sherchand L., McNew R.W., Kellog D.W., Johnson Z.B. Selection of a mathematical model to generate lactation curves using daily milk yields of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 1995; 78(11): 2507–2513. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(95)76880-1

16. Costa A., Bovenhuis H., Penasa M. Changes in milk lactose content as indicators for longevity and udder health in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(12): 11574–11584. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18615>

ОБ АВТОРАХ

Галина Геннадьевна Карликова¹

доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
karlikovagalina@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9021-1404>

Александр Александрович Сермягин²

кандидат сельскохозяйственных наук, директор
alex_sermyagin85@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-2386-12>

Ирина Алексеевна Лашнева¹

кандидат биологических наук, ведущий специалист
lashnevair@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0009-4276-8782>

¹Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, 60, г. о. Подольск, Московская обл., 142132, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста», Московское шоссе, 55А, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, 196601, Россия

11. Buitenhuis A.J., Poulsen N.A. Estimation of heritability for milk urea and genetic correlations with milk production traits in 3 Danish dairy breeds. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106(8): 5562–5569. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22798>

12. Alemu T.W., Santschi D.E., Cue R.I., Duggavathi R. Reproductive performance of lactating dairy cows with elevated milk β -hydroxybutyrate levels during first 6 weeks of lactation. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106(7): 5165–5181. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22406>

13. Shetty N., Difford G., Lassen J., Løvendahl P., Buitenhuis A.J. Predicting methane emissions of lactating Danish Holstein cows using Fourier transform mid-infrared spectroscopy of milk. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(11): 9052–9060. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13014>

14. Ali T.E., Schaeffer L.R. Accounting for covariances among test day milk yields in dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*. 1987; 67(3): 637–644.

15. Sherchand L., McNew R.W., Kellog D.W., Johnson Z.B. Selection of a mathematical model to generate lactation curves using daily milk yields of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 1995; 78(11): 2507–2513. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(95)76880-1

16. Costa A., Bovenhuis H., Penasa M. Changes in milk lactose content as indicators for longevity and udder health in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(12): 11574–11584. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18615>

ABOUT THE AUTHORS

Galina Gennadievna Karlikova¹

Doctor of Agricultural Sciences,
Senior Researcher
karlikovagalina@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9021-1404>

Alexander Alexandrovich Sermyagin²

Candidate of Agricultural Sciences, Director
alex_sermyagin85@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-2386-1289>

Irina Alekseevna Lashneva¹

Candidate of Biological Sciences, Leading Specialist
lashnevair@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0009-4276-8782>

¹L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia

²Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry,

55A Moskovskoe shosse, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia