

УДК 636.2.033

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-402-01-68-76

А.Н. Фролов¹

О.А. Завьялов¹ ✉

З.А. Галиева^{1,2}

Т.Б. Алдыяров¹

Е.С. Медетов¹

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

²Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия

✉ oleg-zavyalov83@mail.ru

Поступила в редакцию: 25.08.2025

Одобрена после рецензирования: 11.11.2025

Принята к публикации: 26.12.2025

©Фролов А.Н., Завьялов О.А., Галиева З.А., Алдыяров Т.Б., Медетов Е.С.

Тестостерон в волосах как прогностический маркер мясной продуктивности бычков

РЕЗЮМЕ

Цель данного исследования — оценка влияния уровня тестостерона в волосах с холки на продуктивные качества и мясную продуктивность бычков герефордской породы ($n = 60$).

По уровню гормона животные были разделены на три группы: с низким, средним и высоким содержанием тестостерона. Концентрацию тестостерона измеряли методом ИФА после экстракции гормона из волос. Оценивали приросты живой массы, показатели убоя, морфологический и химический состав туш. Статистический анализ проводили с использованием *t*-критерия Стьюдента.

Результаты показали выраженную положительную зависимость между уровнем тестостерона и интенсивностью роста. Бычки с высоким уровнем гормона достоверно превосходили животных с низким уровнем по абсолютному (на 23,1%) и среднесуточному (на 23,1%) приросту живой массы, массе туши (на 10,2%) и массе мякоти (на 11,1%). При этом наблюдалось значительное снижение отложения внутреннего жира (на 0,4%) и увеличение содержания протеина (на 1,1%) в длиннейшей мышце. Таким образом, определение тестостерона в волосах является надежным инструментом для прогнозирования мясной продуктивности и может быть использовано в селекционно-племенной работе для отбора животных с оптимальным гормональным статусом.

Ключевые слова: бычки герефордской породы, тестостерон, волосы, продуктивные качества, мясная продуктивность, химический состав мяса

Для цитирования: Фролов А.Н., Завьялов О.А., Галиева З.А., Алдыяров Т.Б., Медетов Е.С. Тестостерон в волосах как прогностический маркер мясной продуктивности бычков. *Аграрная наука*. 2026; 402(01): 68–76. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-402-01-68-76>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-402-01-68-76

Alexey N. Frolov¹

Oleg A. Zavyalov¹ ✉

Zulfiya A. Galieva^{1,2}

Timur B. Aldyarov¹

Erlan S. Medetov¹

¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies RAS, Orenburg, Russia

²Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

✉ oleg-zavyalov83@mail.ru

Received by the editorial office: 25.08.2025

Accepted in revised: 11.11.2025

Accepted for publication: 26.12.2025

© Frolov A.N., Zavyalov O.A., Galieva Z.A., Aldyarov T.B., Medetov E.S.

Testosterone in the hair as a prognostic marker of beef productivity of bulls

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the effect of testosterone levels in withers hair on the productive qualities and meat productivity of Hereford bulls ($n = 60$).

According to hormone levels, the animals were divided into three groups: low, medium and high testosterone. Testosterone concentration was measured by ELISA after hormone extraction from hair. The weight gain, slaughter parameters, and morphological and chemical composition of the carcasses were evaluated. Statistical analysis was performed using the Student's *t*-test.

The results showed a pronounced positive relationship between testosterone levels and growth rate. Bulls with high hormone levels significantly outperformed animals with low levels in terms of absolute (by 23.1%) and average daily (by 23.1%) weight gain, carcass weight (by 10.2%) and pulp weight (by 11.1%). At the same time, there was a significant decrease in internal fat deposition (by 0.4%) and an increase in protein content (by 1.1%) in the longest muscle. Thus, the determination of testosterone in hair is a reliable tool for predicting meat productivity and can be used in breeding work to select animals with optimal hormonal status.

Key words: Hereford bulls, testosterone, hair, productive qualities, meat productivity, chemical composition of meat

For citation: Frolov A.N., Zavyalov O.A., Galieva Z.A., Aldyarov T.B., Medetov E.S. Testosterone in the hair as a prognostic marker of beef productivity of bulls. *Agrarian science*. 2026; 402(01): 68–76 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-402-01-68-76>

Введение/Introduction

Продуктивные и мясные качества крупного рогатого скота являются комплексными признаками, на которые оказывают влияние многочисленные факторы, включая генетику, кормление, условия содержания и гормональный статус животных. Среди гормональных регуляторов особое место занимает тестостерон, являющийся мощным анаболическим андрогеном, который напрямую стимулирует рост мышечной ткани и влияет на метаболизм [1, 2]. Традиционная оценка гормонального статуса у сельскохозяйственных животных основывается на анализе концентрации гормонов в крови, слюне или моче [3]. Однако эти методы имеют существенный недостаток, так как отражают сиюминутную концентрацию гормона, подверженную сильным колебаниям из-за стресса, суточных ритмов и других кратковременных воздействий, что не позволяет объективно оценить долгосрочный гормональный профиль животного [4].

В последние годы в качестве надежной альтернативы для интегральной оценки гормонального фона за длительный период времени активно развивается метод определения стероидных гормонов в волосах [5, 6]. Кератиновый матрикс волоса аккумулирует гормоны из кровотока в процессе роста, обеспечивая тем самым ретроспективный показатель средней концентрации гормона на протяжении нескольких недель или даже месяцев, в зависимости от длины волоса. Этот неинвазивный метод минимизирует стресс от процедуры отбора проб, что особенно важно в животноводстве, и позволяет получить стабильные и воспроизводимые данные. На сегодняшний день наиболее широко в волосах изучался кортизол как маркер хронического стресса у различных видов животных, включая крупный рогатый скот [7]. В то же время данные о содержании тестостерона в волосах у сельскохозяйственных животных и его связи с хозяйственно полезными признаками остаются крайне ограниченными и фрагментарными.

Исследования на других видах млекопитающих, включая приматов и грызунов, демонстрируют сильную корреляцию между уровнем тестостерона в волосах и его циркулирующими концентрациями, а также связь с поведенческими и физиологическими характеристиками [8, 9]. Таким образом, есть все основания предполагать, что измерение тестостерона в волосах может стать ценным инструментом в селекционно-племенной работе для идентификации животных с оптимальным для мясной продуктивности гормональным статусом.

Цель настоящего исследования — оценка взаимосвязи между различными естественными уровнями тестостерона в организме, определенного по его концентрации в волосах с холки, и продуктивными качествами бычков герефордской породы.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования выполняли в 2024–2025 гг. в условиях ООО «Агросакмара» и ООО «Оренбив» (Южный Урал, Россия). Объект исследования — бычки герефордской породы ($n = 60$; возраст 15–18 мес.)

Содержание животных и экспериментальные исследования проводили в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативного акта — Модельного закона Межпарламентской ассамблеи государств — участников Содружества Независимых Государств «Об обращении с животными» (принят на 29-м пленарном заседании Межпарламентской ассамблеи государств — участников СНГ (постановление от 31 октября 2007 года № 29-17¹) (<https://base.garant.ru/71307856/>)¹.

В ходе исследований были предприняты все усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и сократить количество испытуемых образцов.

Схема эксперимента

Бычки в зависимости от уровня тестостерона в волосах с холки процентильным методом были разделены на три группы: I группа — до 25-го перцентиля ($n = 13$); II группа — в границах 25–75-го перцентиля ($n = 24$); III группа — выше 75-го перцентиля ($n = 13$). Основанием выбора данных интервалов послужили проведенные ранее исследования². Условия кормления и содержания для всех обследованных животных были идентичными.

Технология содержания

Животные в период 15–18 месяцев содержались в одной секции (беспривязно). Данная технология предусматривала содержание животных в железобетонных помещениях со свободным выходом на выгульно-кормовую площадку.

Кормление животных

Рационы кормления всех групп животных были идентичными и состояли из полнорационного рациона (60% концентратов, 40% грубых и сочных кормов, 10,3–10,5 МДж обменной энергии), сбалансированного по питательным веществам в соответствии со стандартами откорма бычков 15–18 месяцев³. Животные не получали никаких дополнительных гормональных препаратов.

¹ Модельный закон Межпарламентской ассамблеи государств — участников Содружества Независимых Государств «Об обращении с животными» (принят на 29-м пленарном заседании Межпарламентской ассамблеи государств — участников СНГ (постановление от 31 октября 2007 года № 29-17). <https://base.garant.ru/71307856/>

² Miroshnikov S. et al. The Reference Intervals of Hair Trace Element Content in Hereford Cows and Heifers (Bos Taurus). Biol Trace Elem Res. 2017; 180(1): 456–462. DOI: 10.1007/s12011-017-0991-5

³ Калашников А.П., Фисинин В.И., Щеглов В.В., Первов Н.Г. и др. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. М.: Знание. 2003; 456. ISBN: 5-94587-093-5

Сбор волос и подготовка проб

Пробы волос отбирали перед отправкой на бойню с верхней части холки (минимум 0,4 г)⁴. Волосы состригали близко к коже с помощью машинки для стрижки животных Heiniger Saphir (Швейцария) со стальными ножами (высота среза 1,5 мм). Для предотвращения внешнего загрязнения ножки обрабатывали 96%-ным этанолом перед каждым отбором пробы. Все процедуры отбора проб выполняли в одноразовых резиновых перчатках ELEGREEN VINYLTER TPE. Пробы хранили до начала подготовки в сухих бумажных конвертах в темном месте при комнатной температуре.

Очистку образцов проводили по следующему протоколу: замачивание в дистиллированной воде при 4060 °С в течение 3 часов; двухчасовая обработка в 40%-ном растворе этанола с одновременным воздействием ультразвука (частота 35 кГц, мощность 300(450) Вт, амплитуда 10 мм) в ультразвуковой ванне Stegler 5DT (Stegler, Китай); двухчасовая обработка в бидистиллированной воде с ультразвуком (параметры идентичны предыдущему этапу). После очистки волосы измельчали с помощью вибрационной мельницы IMC vMILL05 (IMC Group, Китай) со стальным размольным комплектом. Размер частиц полученного порошка, выраженный как медиана распределения (d_{50}), составлял 20 мкм. Экстракцию гормонов из волос проводили по методу, ранее описанному для человека и обезьян⁵.

Экстракция стероидных гормонов: 25 мг измельченных волос взвешивали в микропробирке. К каждой пробе добавляли 500 мкл метанола, и пробирки инкубировали 24 ч. при 37 °С. Затем пробы помещали в ультразвуковую ванну Stegler 5DT (Stegler, Китай) на 10 мин. После этого их центрифугировали в течение 60 сек. в микроцентрифуге MINI-7KC (Allsheng, Китай) при 13 500 об/мин. По 300 мкл каждого метанольного экстракта отбирали в новую пробирку и высушивали под потоком азота при 38 °С. Высушенные экстракты ресуспендировали в 200 мкл фосфатного буфера.

Экстракция нестероидных гормонов: 25 мг измельченных волосах взвешивали в микропробирке. К каждой пробе добавляли 500 мкл фосфатного буфера, и пробирки инкубировали 24 ч. при 37 °С. Затем пробы помещали в ультразвуковую баню на 10 мин. После этого их центрифугировали в течение 60 сек. в микроцентрифуге при 13 500 об/мин. По 200 мкл каждого экстракта переносили пипеткой в новую пробирку.

Уровень гормонов в пробах волос определяли методом иммуноферментного анализа (ИФА) с использованием автоматического микропланшетного ридера (Infinite F200 PRO, Tecan, Австрия). Все анализы проводили в трех повторностях. Валидацию реагентов проводили каждый раз перед использованием новой партии наборов («Хема», Россия) путем анализа калибровочных кривых ($R^2 \geq 0,99$, коэффициент вариации (CV) калибраторов < 15%) и сравнения оптической плотности контрольных образцов с диапазонами производителя.

Убой и оценка туш

Бычки были забиты в возрасте 18 месяцев в соответствии с ГОСТ 34120-2017⁶ (2018 г.) на мясокомбинате ООО «Оренбив» (Оренбургская обл., Россия). Живую массу перед убоем измеряли индивидуально после 24-часового голодной выдержки на электронных весах (ООО «Веспром», Россия). После убоя регистрировали массу туши в парном и охлажденном виде и массу внутреннего жира. Затем, используя полученные результаты, рассчитывали выход туши и убойный выход.

Измерение pH

pH длиннейшей мышцы измеряли через 24 часа после убоя с помощью портативного pH-метра ESO pH (STEP, Германия) с проникающим электродом⁷.

Разделка туш и отбор проб мяса

После охлаждения мясо (мякоть) отделяли от костей, сухожилий и связок. Все части туши взвешивали и рассчитывали их выход. Мякоть левых полутуш была обработана с помощью промышленной мясорубки. Полученный мясной фарш был тщательно перемешан, и пять подвыборок из разных мест объединили в одну 400-граммовую комбинированную пробу⁸. Кроме того, перед обвалкой из той же полутуши был отобран 200-граммовый образец длиннейшей мышцы спины. Образец этой мышцы был взят поперек спинной области на уровне 9–11-го ребра.

Анализ мяса

Качественные характеристики пробы длиннейшей мышцы и объединенной пробы фарша изучали в соответствии со стандартными методическими рекомендациями. Замораживание проб не допускалось. Содержание жира — экстракцией в аппарате Сокслета с использованием гексана⁹, содержание белка — методом Кьельдаля¹⁰, содержание золы — путем сухой минерализации, озоления и последующего прокалывания в муфельной

⁴ Miroshnikov S., Kharlamov A., Zavyalov O., Frolov A., Duskaev G., Bolodurina I., Arapova O. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile. Pak J Nutr. 2015; 14(9): 632–636. DOI: 10.3923/pjn.2015.632.636

⁵ Meyer J., Novak M., Hamel A., Rosenberg K. Extraction and analysis of cortisol from human and monkey hair. J. Vis. Exp. 2014; 83: e50882.

⁶ ГОСТ 34120-2017 Крупный рогатый скот для убоя. Говядина и телятина в тушах, полутушах и четвертинах. Технические характеристики М.: Стандартинформ. 2020.

⁷ AOAC International. Official Method 950.46: pH of Meat. In: Official Methods of Analysis. 22nd ed. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International. 2023; 39: 6.

⁸ Куранов Ю.Ф., Хруцкая С.Ф. Оценка качества мяса (руководство по лабораторным исследованиям). Оренбург: Министерство сельского хозяйства СССР. 1972; 34.

⁹ AOAC International. Official Method 991.36: Fat (Crude) in Meat and Meat Products — Automated Method. In: Official Methods of Analysis. 20th ed. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International. 2016.

¹⁰ AOAC International. Official Method 981.10: Protein in Meat and Meat Products. In: Official Methods of Analysis. 20th ed. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International. 2016.

печи при 550 ± 25 °C до постоянной массы¹¹. Мас-совую долю влаги в образцах определяли по AOAC International (2019)¹². Энергетическую цен-ность мякоти определяли по формуле В.М. Алек-сандрова¹³.

Исследования аминокислотного состава (окси-пролин, триптофан) в длиннейшей мышце прово-дили в трех повторностях методом капиллярного электрофореза на системе «Капель» (ООО «Лю-мэкс-Маркетинг», Россия)^{14, 15}.

Все лабораторные анализы проводили в Феде-ральном исследовательском центре биологиче-ских систем и агротехнологий Российской акаде-мии наук (г. Оренбург).

Статистический анализ

Достоверность различий оценивали при помо-щи t-критерия Стьюдента. Уровень значимости (p) принимался меньшим или равным 0,05.

В таблицах приведены средние значения пока-зателей (M) и ошибки средних арифметических (\pm SEM).

Обработку данных проводили с использованием программного пакета Statistica 20.0 (StatSoft Inc., США) и IBM SPSS (США).

Результаты и обсуждение /

Results and discussion Формирование опыт-ных групп на основе процентильного распреде-ления концентрации тестостерона в волосах по-зволило создать три группы для последующего объективного анализа его влияния на продуктив-ные и мясные качества бычков. Сформирован-ные группы характеризовались следующими ди-апазонами концентрации тестостерона: I группа (низкий уровень) — от 4,86 до 7,22 нг/г; II группа (средний уровень) — от 7,76 до 11,5 нг/г; III группа (высокий уровень) — от 12,05 до 18,53 нг/г.

Попарное сравнение средних значений между группами с использованием t-критерия выяви-ло достоверные различия по концентрации тесто-стерона (рис. 1).

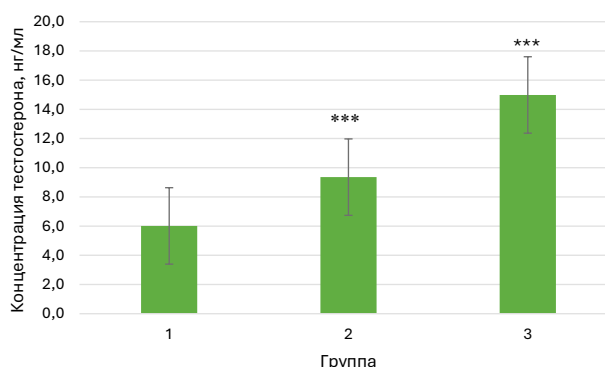
Анализ полученных данных показал, что раз-личие между I и II группами составило 3,35 нг/г ($p \leq 0,001$). Между бычками I и III групп была за-фиксирована разница в 8,97 нг/г ($p \leq 0,001$).

Проведенные исследования выявили суще-ственное влияние исходного уровня тестосте-рона, определенного в волосах с холки, на про-дуктивные качества, мясную продуктивность и характеристики туши бычков герефордской по-роды. В частности, анализ живой массы и ее при-ростов за период с 15- до 18-месячного возраста продемонстрировал четкую положительную

Рис. 1. Средняя концентрация тестостерона в волосах бычков герефордской породы в зависимости от процентильного интервала, нг/г

Fig. 1. Average testosterone concentration in the hair of Hereford bulls depending on the percentile interval, ng/g

Примечание: *** p \leq 0,001 по сравнению с I группой.



зависимость интенсивности роста от concentra-ции тестостерона (табл. 1).

Так, абсолютный прирост живой массы у быч-ков III группы был достоверно ($p \leq 0,001$) выше, чем у животных I группы, на 23,1%. Аналогичную закономерность наблюдали для среднесуточно-го прироста, который в группе с высоким тесто-стероном превышал показатель группы с низкими значениями на 23,1% ($p \leq 0,001$). Разница в отно-сительном приросте между этими группами со-ставила 3%.

Установленные при жизни различия в продук-тивности полностью подтвердились данными убоя (табл. 2).

Таблица 1. Продуктивные качества бычков герефорд-ской породы с 15- до 18 месячного возраста в зави-симости от концентрации тестостерона в волосах (M \pm SEM, n = 50, опыт в условиях ООО «Агросакмара», 2024 г.)

Table 1. Productive qualities of Hereford bulls from 15 to 18 months of age depending on the concentration of testosterone in hair (M \pm SEM, n = 50, experiment under conditions of "Agrosakmara", 2024)

Показатель	Группа		
	I	II	III
Живая масса, кг:			
15 мес.	403,2 \pm 5,32	411,9 \pm 5,74	421,4 \pm 5,92*
18 мес.	487,1 \pm 6,14	501,3 \pm 6,54	524,7 \pm 6,64***
Абсолютный прирост живой массы, кг	83,9 \pm 2,34	89,4 \pm 2,94	103,3 \pm 3,16***
Среднесуточный прирост, г	922 \pm 15,48	982 \pm 18,22*	1135 \pm 18,86***
Относительный прирост, %	18,8 \pm 0,46	19,6 \pm 0,54	21,8 \pm 0,58***

Примечание: описание групп в разделе «Материалы и методы исследований»; *, **, *** — соответственно, $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ и $p \leq 0,001$ по сравнению с I группой.

¹¹ AOAC International. Official Method 920.153: Ash of Meat. In: Official Methods of Analysis. 20th ed. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International. 2016.

¹² AOAC International. Official Method 950.46: Moisture in Meat. In: Official Methods of Analysis. 21st ed. Rockville, MD, USA: AOAC International. 2019; 39: 6.

¹³ Александров В.М. Методика изучения откормочных и мясных качеств крупного рогатого скота [Methods for studying the fattening and meat qualities of cattle]. Москва. 1951; 53.

¹⁴ AOAC International. Official Method 988.15: Tryptophan in Foods and Food Ingredients. In: Official Methods of Analysis. 20th ed. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International. 2016.

¹⁵ AOAC International. Official Method 990.26: Hydroxyproline in Meat and Meat Products. In: Official Methods of Analysis. 20th ed. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International. 2016.

Таблица 2. Результаты контрольного убоя подопытных бычков герефордской породы в зависимости от концентрации тестостерона в волосах ($M \pm SEM$, $n = 50$, опыт в условиях ООО «Оренбив», 2024 г.)

Table 2. Results of the control slaughter of experimental Hereford bulls depending on the concentration of testosterone in hair ($M \pm SEM$, $n = 50$, experiment under conditions of "Orenbeef", 2024)

Показатель	Группа		
	I	II	III
Предубойная живая масса, кг	474,86 ± 5,42	489,63 ± 5,96	514,64 ± 6,08***
Масса туши, кг	270,29 ± 3,02	282,42 ± 3,44*	297,87 ± 3,64***
Выход туши, %	56,92 ± 0,356	57,68 ± 0,388	57,88 ± 0,423
Масса внутреннего жира-сырца, кг	15,69 ± 0,204	13,97 ± 0,255***	12,08 ± 0,283***
Выход внутреннего жира-сырца, %	3,30 ± 0,166	2,85 ± 0,162	2,35 ± 0,134***
Убойная масса, кг	285,98 ± 2,94	296,39 ± 3,08*	309,95 ± 3,12***
Убойный выход, %	60,22 ± 0,28	60,53 ± 0,36	60,23 ± 0,40

Примечание: описание групп в разделе «Материалы и методы исследований»; *, **, *** — соответственно, $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ и $p \leq 0,001$ по сравнению с I группой.

Остановившись на отдельных аспектах, следует отметить, что предубойная живая масса бычков III группы была выше на 8,4% ($p \leq 0,001$) по сравнению с I группой. Масса туши увеличивалась с ростом уровня тестостерона. Так, этот показатель в III группе превышал таковой в I группе на 10,2% ($p \leq 0,001$). Масса внутреннего жира-сырца в III группе была на 23,0% меньше, чем в I ($p \leq 0,001$), а его выход — на 1% меньше ($p \leq 0,001$). Убойная масса в группе с высоким тестостероном была на 8,4% выше, чем в группе с низким ($p \leq 0,001$), в то время как убойный выход достоверно не отличался между группами.

Анализ морфологии туш показал, что более высокие привесы и масса туши у бычков III группы были обеспечены за счет большего развития мышечной ткани (табл. 3).

Масса мякоти в их тушах была достоверно выше на 11,1% по сравнению с I группой ($p \leq 0,001$). При этом выход мякоти (доля от массы туши) незначительно, но достоверно увеличивался на 0,5% ($p \leq 0,001$). Одновременно с этим отмечали тенденцию к снижению выхода костей — на 0,6% ($p \leq 0,05$), что свидетельствует о лучшей обмускуленности туш животных с высоким уровнем тестостерона.

Данные химического состава средней пробы мяса, представляющей собой усредненный образец после обвалки левой полутуши, представлены в таблице 4.

Анализ полученных результатов показал, что концентрация тестостерона оказала значимое влияние на ключевые показатели состава мышечной ткани. Наблюдалась четкая тенденция к увеличению содержания сырого протеина по мере роста уровня тестостерона. Его доля в сухом веществе в мясе бычков III группы была на 0,94% выше ($p \leq 0,05$), чем в I группе. Одновременно с этим отмечали обратную зависимость для содержания жира: в III группе его

Таблица 3. Морфологический состав туш подопытных бычков герефордской породы в зависимости от концентрации тестостерона в волосах ($M \pm SEM$, $n = 50$, опыт в условиях ООО «Оренбив», 2024 г.)

Table 3. Morphological composition of the carcasses of experimental Hereford bulls depending on the concentration of testosterone in hair ($M \pm SEM$, $n = 50$, experiment under conditions of "Orenbeef", 2024)

Показатель	Группа		
	I	II	III
Масса охлажденной туши, кг	266,28 ± 3,06	278,54 ± 3,38*	294,04 ± 3,58***
Масса мякоти, кг	212,12 ± 2,40	222,16 ± 2,68*	235,61 ± 2,65***
Выход мякоти, %	79,66 ± 0,266	79,76 ± 0,302***	80,13 ± 0,306***
Мышечная ткань, кг	188,53 ± 1,68	197,99 ± 1,88	210,73 ± 2,01
Мышечная ткань, % от массы мякоти	88,88 ± 0,338	89,12 ± 0,346	89,44 ± 0,364
Масса костей, кг	45,21 ± 0,354	46,74 ± 0,350**	48,16 ± 0,382***
Выход костей, %	16,98 ± 0,194	16,78 ± 0,208	16,38 ± 0,224*
Масса сухожилий и связок, кг	8,95 ± 0,158	9,64 ± 0,170*	10,26 ± 0,172***
Выход сухожилий и связок, %	3,36 ± 0,208	3,46 ± 0,226	3,49 ± 0,236
Индекс мясности	4,69 ± 0,148	4,75 ± 0,152	4,89 ± 0,162
Показатель пищевой ценности	3,92 ± 0,118	3,94 ± 0,134	4,03 ± 0,134

Примечание: описание групп в разделе «Материалы и методы исследований»; *, **, *** — соответственно, $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ и $p \leq 0,001$ по сравнению с I группой.

Таблица 4. Химический состав и энергетическая ценность мякоти в зависимости от концентрации кортизола в волосах бычков герефордской породы в зависимости от концентрации тестостерона в волосах ($M \pm SEM$, $n = 50$, опыт в условиях ООО «Оренбив», 2024 г.)

Table 4. Chemical composition and energy value of the meat pulp depending on the concentration of cortisol in the hair of Hereford bulls depending on the concentration of testosterone in hair ($M \pm SEM$, $n = 50$, experiment under conditions of "Orenbeef", 2024)

Показатель	Группа		
	I	II	III
Сухое вещество, %	30,55 ± 0,578	30,64 ± 0,586	30,94 ± 0,622
Протеин, %	18,42 ± 0,222	18,74 ± 0,422	19,36 ± 0,334*
Жир, %	11,12 ± 0,154	10,88 ± 0,136	10,56 ± 0,142*
Зола, %	1,01 ± 0,082	1,02 ± 0,072	1,02 ± 0,058
<i>Синтезировано в мякоти, кг:</i>			
протеина	39,07 ± 1,282	41,63 ± 1,314	45,61 ± 1,338**
жира	23,59 ± 0,592	24,17 ± 0,585	24,88 ± 0,566
Энергетическая ценность 1 кг мякоти, МДж	7,49 ± 0,146	7,45 ± 0,156	7,44 ± 0,162
Энергетическая ценность мякоти туши, МДж	1589,1 ± 14,98	1655,8 ± 15,78**	1751,8 ± 15,88***

Примечание: описание групп в разделе «Материалы и методы исследований»; *, **, *** — соответственно, $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ и $p \leq 0,001$ по сравнению с I группой.

количество было достоверно (на 0,56%) ниже, чем в I группе.

Содержание сухого вещества и золы достоверно не различалось между группами, что указывает на стабильность минерального состава и общей массы сухих веществ. Наиболее важным является расчет абсолютного количества синтезированных веществ. Несмотря на незначительные

различия в процентном содержании, общая масса накопленного протеина во всей мякоти туши у бычков III группы была достоверно (на 16,7%) выше ($p \leq 0,01$), чем в I группе. Это прямое следствие большей мышечной массы у животных с высоким уровнем тестостерона. Масса синтезированного жира имела тенденцию к увеличению, но различия были статистически недостоверны, что связано с компенсаторным эффектом: большая общая масса мякоти при несколько меньшем процентном содержании жира.

Энергетическая ценность 1 кг мякоти была практически идентичной во всех группах. Однако общая энергетическая ценность всей мякоти туши в группе III была достоверно (на 10,2%) выше ($p \leq 0,001$), что обусловлено большим количеством мышечной ткани.

Анализ химического состава длиннейшей мышцы спины выявил более выраженные и статистически значимые различия между группами, что делает ее надежным маркером влияния тестостерона на качество мяса (табл. 5).

Так же как и в средней пробе, содержание протеина в длиннейшей мышце достоверно увеличивалось с ростом уровня тестостерона. В III группе этот показатель был на 1,1% выше ($p \leq 0,001$), чем в I группе. Содержание жира, напротив, значительно снижалось: в группе III оно было на 0,4% ниже ($p \leq 0,01$), чем в I группе. Это указывает на то, что высокий уровень тестостерона способствует перераспределению питательных веществ в пользу интенсивного синтеза мышечного белка при одновременном снижении липогенеза внутри мышцы. В III группе было отмечено достоверное увеличение содержания сухого вещества — на 0,75% ($p \leq 0,05$), что логично объясняется возросшей долей белка. Содержание золы и энергетическая ценность 1 кг мышцы оставались стабильными. Анализ показал улучшение качественных характеристик мяса за счет увеличения на 5,9% ($p \leq 0,05$) содержания триптофана в III группе относительно сверстников I группы. Снижение значения pH и тенденция к увеличению влагоудерживающей способности (с 55,42 до 56,18%) в группах с высоким тестостероном могут свидетельствовать о благоприятном течении биохимических процессов в мясе после убоя, что положительно сказывается на его нежности и сочности.

Обсуждение

Проведенные исследования были направлены на изучение влияния уровня тестостерона, определенного инновационным неинвазивным методом в волосах с холки, на продуктивные и мясные качества бычков герефордской породы. В качестве метода оценки гормонального статуса был выбран анализ тестостерона в волосах, что, по данным литературы, является надежным инструментом, интегрирующим гормональную секрецию за длительный период (несколько недель или месяцев), в отличие от «точечных» измерений в

Таблица 5. Химический состав длиннейшей мышцы спины бычков герефордской породы в зависимости от концентрации тестостерона в волосах ($M \pm SEM$, $n = 50$, опыт в условиях ООО «Оренбев», 2024 г.)

Table 5. Chemical composition of the longissimus dorsi muscle of Hereford bulls depending on the concentration of testosterone in hair ($M \pm SEM$, $n = 50$, experiment under conditions of "Orenbeef", 2024)

Показатель	Группа		
	I	II	III
Сухое вещество, %	23,44 ± 0,204	24,02 ± 0,223	24,19 ± 0,220*
Протеин, %	20,58 ± 0,190	21,40 ± 0,178**	21,72 ± 0,179***
Жир, %	1,86 ± 0,093	1,62 ± 0,091	1,46 ± 0,098**
Зола, %	1,0 ± 0,056	1,0 ± 0,058	1,01 ± 0,052
Энергетическая ценность 1 кг мякоти, МДж	4,26 ± 0,106	4,30 ± 0,106	4,30 ± 0,114
Триптофан, мг/%	372,24 ± 7,027	380,42 ± 9,980	394,28 ± 7,173*
Оксипролин, мг/%	54,38 ± 0,414	54,68 ± 0,590	55,46 ± 0,576
pH	5,80 ± 0,102	5,62 ± 0,105	5,58 ± 0,104
Влагоемкость, %	55,42 ± 0,529	55,86 ± 0,508	56,18 ± 0,598
Белково-качественный показатель	6,8 ± 0,112	7,0 ± 0,112	7,1 ± 0,108

Примечание: описание групп в разделе «Материалы и методы исследований»; *, **, *** — соответственно, $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ и $p \leq 0,001$ по сравнению с I группой.

крови или слюне, подверженных сильным кратковременным колебаниям [10]. Это позволяет считать использованный метод адекватным для классификации животных по устойчивому гормональному профилю.

Ключевым результатом настоящей работы является выявление выраженной положительной корреляции между концентрацией тестостерона в волосах и интенсивностью роста бычков в заключительный период откорма (с 15 до 18 мес.). Установлено, что животные с высоким уровнем тестостерона достоверно превосходили сверстников с низким уровнем по абсолютному и среднесуточному приростам живой массы. Эти данные полностью согласуются с общебиологической ролью тестостерона как мощного анаболического стероида, стимулирующего синтез белка и рост мышечной ткани [11].

Полученные результаты подтверждают выводы исследований, в которых экзогенное введение аналогов тестостерона (или селекция по связанным с ним признакам) приводило к увеличению скорости роста молодняка крупного рогатого скота [12].

Выявленные при жизни различия в продуктивности получили полное подтверждение при анализе результатов контрольного убоя. Предубойная живая масса и масса туши у бычков III группы были достоверно выше, чем в I группе. Важным аспектом является не только увеличение массы, но и изменение морфологического состава туш. Как и следовало ожидать, учитывая липолитический эффект андрогенов [13], было зафиксировано значительное снижение количества и выхода внутреннего жира-сырца у животных с высоким уровнем тестостерона. Это указывает на

перераспределение питательных веществ из липогенеза в сторону белкового синтеза, что является экономически выгодным, так как снижает затраты корма на формирование менее ценного продукта — внутреннего жира.

Морфологический анализ туш продемонстрировал, что большая масса туши у бычков III группы была обеспечена за счет значительного увеличения массы мякоти при одновременном снижении выхода костей. Это привело к повышению индекса мясности, что свидетельствует о лучшей обмускуленности туш и является ценным селекционным признаком. Подобное влияние тестостерона на соотношение мышечной и костной тканей хорошо описано в литературе [14].

Наиболее значимые изменения, отражающие качество мясной продукции, были выявлены при химическом анализе. Наблюдалась четкая тенденция к увеличению содержания сырого протеина и снижению содержания жира как в усредненной пробе мякоти, так и в длиннейшей мышце спины. Особенно показательными являются данные по длиннейшей мышце — ключевому объекту оценки мясной продуктивности. Достоверное увеличение содержания протеина и снижение внутримышечного жира в III группе по сравнению с I группой напрямую свидетельствуют об улучшении биохимического и, следовательно, пищевого качества мяса. Увеличение содержания триптофана является положительным фактором, так как эта аминокислота играет важную роль в питательной ценности и метаболизме [15]. Снижение значения pH и тенденция к росту влагоудерживающей способности в группах с высоким тестостероном могут косвенно указывать на лучшее качество мяса после убоя.

Важно подчеркнуть, что общая энергетическая ценность всей мякоти туши была максимальной в III группе, что является прямым следствием большего количества мышечной ткани, несмотря на схожую калорийность единицы продукта. Это означает, что от животных с высоким естественным уровнем тестостерона можно получить больше

высокобелкового мяса с оптимальным соотношением протеина и жира.

Выводы/Conclusions

На основании проведенного исследования установлено, что уровень тестостерона в волосах бычков герефордской породы является достоверным прогностическим маркером мясной продуктивности. Бычки III группы с высоким гормональным статусом (12,05–18,53 нг/г) значительно превзошли животных I группы по абсолютному (на 23,1%) и среднесуточному (на 23,1%) приросту живой массы. На убое это преимущество выразилось в большей массе туши (на 10,2%) и мякоти (на 11,1%), а также в снижении массы внутреннего жира на 23,0%. Качество мяса улучшилось: в длиннейшей мышце спины содержание протеина увеличилось на 1,1%, а жира — снизилось на 0,4%.

Таким образом, интегральный показатель тестостерона в волосах позволяет прогнозировать не только интенсивность роста, но и выход более ценных частей туши с улучшенным биохимическим составом. Полученные результаты свидетельствуют, что высокий естественный уровень тестостерона ассоциирован с более интенсивным ростом, повышенным выходом мышечной ткани, снижением отложения внутреннего жира и улучшением биохимических показателей качества мяса.

Результаты имеют высокую практическую значимость для селекционно-племенной работы в мясном скотоводстве. Предлагаемый неинвазивный и технологичный метод отбора проб (волосы с холки) обеспечивает оценку долгосрочного гормонального профиля, минуя стресс, связанный с взятием крови, и исключая влияние сиюминутных колебаний.

Использование метода определения тестостерона в волосах может позволить проводить ранний отбор бычков с наиболее желательным гормональным статусом для производства высококачественной говядины.

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

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского научного фонда по проекту № 24-16-00093. <https://rscf.ru/project/24-16-00093/>

FUNDING

This research was funded by Russian Science Foundation under Project No. 24-16-00093. <https://rscf.ru/project/24-16-00093/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Crespi B.J., Bushell A., Dinsdale N. Testosterone mediates life-history trade-offs in female mammals. *Biological Reviews*. 2025; 100(2): 871–891. <https://doi.org/10.1111/brv.13166>
- Xu H. *et al.* Melatonin Inhibits Testosterone Synthesis in Rooster Leydig Cells by Targeting CXCL14 through miR-7481-3p. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(23): 16552. <https://doi.org/10.3390/ijms242316552>

REFERENCES

- Crespi B.J., Bushell A., Dinsdale N. Testosterone mediates life-history trade-offs in female mammals. *Biological Reviews*. 2025; 100(2): 871–891. <https://doi.org/10.1111/brv.13166>
- Xu H. *et al.* Melatonin Inhibits Testosterone Synthesis in Rooster Leydig Cells by Targeting CXCL14 through miR-7481-3p. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(23): 16552. <https://doi.org/10.3390/ijms242316552>

3. Ушакова С.Н., Машталер Д.В., Мороз Т.А., Приданова И.Е., Ерохина Н.И. Гормональный статус и основные показатели спермопродуктивности быков-производителей отечественных молочных пород. *Вестник Ошского государственного университета. Сельское хозяйство: агрономия, ветеринария и зоотехния*. 2023; (3): 101–106.
https://doi.org/10.52754/16948696_2023_3_13
4. Новгородова И.П. Методы определения концентрации кортизола у животных. *Аграрная наука*. 2024; (4): 35–43.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-35-43>
5. Russell E., Koren G., Rieder M., Van Uum S. Hair cortisol as a biological marker of chronic stress: Current status, future directions and unanswered questions. *Psychoneuroendocrinology*. 2012; 37(5): 589–601.
<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2011.09.009>
6. van der Valk E.S. et al. Hair cortisol, obesity and the immune system: Results from a 3 year longitudinal study. *Psychoneuroendocrinology*. 2021; 134: 105422.
<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2021.105422>
7. Kern J., Jorgensen M.W., Boerman J.P., Erasmus M., Johnson J.S., Pempek J.A. Effect of repeated HPA axis stimulation on hair cortisol concentration, growth, and behavior in preweaned dairy cattle. *Journal of Animal Science*. 2024; 102: skae171.
<https://doi.org/10.1093/jas/skae171>
8. Ghassemi Nejad J., Lee B.-H., Kim J.-Y., Chemere B., Sung K.-I., Lee H.-G. Effect of alpine grazing on plasma and hair cortisol, serotonin, and DHEA in dairy cows and its welfare impact. *Domestic Animal Endocrinology*. 2021; 75: 106581.
<https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2020.106581>
9. León-Llanos L.M., Flórez-Díaz H., Duque-Muñoz L.G., Villarreal M., Miranda-de la Lama G.C. Influence of temperament on performance and carcass quality of commercial Brahman steers in a Colombian tropical grazing system. *Meat Science*. 2022; 191: 108867.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108867>
10. Braun U., Züblin S., Imhof S., Baumgartner M.R., Binz T.M. Hair cortisol concentrations in different breeds of cows: Comparison of hair from unshorn and previously shorn areas and from various regions of the body. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*. 2022; 164(10): 695–703.
<https://doi.org/10.17236/sat00369>
11. Abdoli A., Ghaffarifar F., Sharifi Z., Taghipour A. *Toxoplasma gondii* infection and testosterone alteration: A systematic review and meta-analyses. *PLOS One*. 2024; 19(4): e0297362.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297362>
12. Preinbergs J.K., Ström J.O., Theodorsson E., Ingberg E. Segmental hair analysis as a retrospective testosterone diary: possibilities and pitfalls. *Scientific Reports*. 2023; 13: 16015.
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-41672-7>
13. Djouadi F. et al. A Gender-related Defect in Lipid Metabolism and Glucose Homeostasis in Peroxisome Proliferator — activated Receptor α -deficient Mice. *The Journal of Clinical Investigation*. 1998; 102(6): 1083–1091.
<https://doi.org/10.1172/JCI3949>
14. Shah I., Hakeem M.K., Alraeesi A., Barker J. Innovative Detection of Testosterone Esters in Camel Hair: Unravelling the Mysteries of Dromedary Endocrinology. *Molecules*. 2024; 29(1): 97.
<https://doi.org/10.3390/molecules29010097>
15. Li P., Yin Y.-L., Li D., Kim S.W., Wu G. Amino acids and immune function. *British Journal of Nutrition*. 2007; 98(2): 237–252.
<https://doi.org/10.1017/S000711450769936X>
3. Ushakova S.N., Mashtaler T.A., Moroz T.A., Pridanova I.E., Erokhina N.I. Hormonal status and main indicators of sperm production of bulls-producers of domestic dairy breeds. *Journal of Osh State University. Agronomy, veterinary and zootechnics*. 2023; (3): 101–106 (in Russian).
https://doi.org/10.52754/16948696_2023_3_13
4. Novgorodova I.P. Methods for determining cortisol concentrations in animals. *Agrarian science*. 2024; (4): 35–43 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-35-43>
5. Russell E., Koren G., Rieder M., Van Uum S. Hair cortisol as a biological marker of chronic stress: Current status, future directions and unanswered questions. *Psychoneuroendocrinology*. 2012; 37(5): 589–601.
<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2011.09.009>
6. van der Valk E.S. et al. Hair cortisol, obesity and the immune system: Results from a 3 year longitudinal study. *Psychoneuroendocrinology*. 2021; 134: 105422.
<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2021.105422>
7. Kern J., Jorgensen M.W., Boerman J.P., Erasmus M., Johnson J.S., Pempek J.A. Effect of repeated HPA axis stimulation on hair cortisol concentration, growth, and behavior in preweaned dairy cattle. *Journal of Animal Science*. 2024; 102: skae171.
<https://doi.org/10.1093/jas/skae171>
8. Ghassemi Nejad J., Lee B.-H., Kim J.-Y., Chemere B., Sung K.-I., Lee H.-G. Effect of alpine grazing on plasma and hair cortisol, serotonin, and DHEA in dairy cows and its welfare impact. *Domestic Animal Endocrinology*. 2021; 75: 106581.
<https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2020.106581>
9. León-Llanos L.M., Flórez-Díaz H., Duque-Muñoz L.G., Villarreal M., Miranda-de la Lama G.C. Influence of temperament on performance and carcass quality of commercial Brahman steers in a Colombian tropical grazing system. *Meat Science*. 2022; 191: 108867.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108867>
10. Braun U., Züblin S., Imhof S., Baumgartner M.R., Binz T.M. Hair cortisol concentrations in different breeds of cows: Comparison of hair from unshorn and previously shorn areas and from various regions of the body. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*. 2022; 164(10): 695–703.
<https://doi.org/10.17236/sat00369>
11. Abdoli A., Ghaffarifar F., Sharifi Z., Taghipour A. *Toxoplasma gondii* infection and testosterone alteration: A systematic review and meta-analyses. *PLOS One*. 2024; 19(4): e0297362.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297362>
12. Preinbergs J.K., Ström J.O., Theodorsson E., Ingberg E. Segmental hair analysis as a retrospective testosterone diary: possibilities and pitfalls. *Scientific Reports*. 2023; 13: 16015.
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-41672-7>
13. Djouadi F. et al. A Gender-related Defect in Lipid Metabolism and Glucose Homeostasis in Peroxisome Proliferator — activated Receptor α -deficient Mice. *The Journal of Clinical Investigation*. 1998; 102(6): 1083–1091.
<https://doi.org/10.1172/JCI3949>
14. Shah I., Hakeem M.K., Alraeesi A., Barker J. Innovative Detection of Testosterone Esters in Camel Hair: Unravelling the Mysteries of Dromedary Endocrinology. *Molecules*. 2024; 29(1): 97.
<https://doi.org/10.3390/molecules29010097>
15. Li P., Yin Y.-L., Li D., Kim S.W., Wu G. Amino acids and immune function. *British Journal of Nutrition*. 2007; 98(2): 237–252.
<https://doi.org/10.1017/S000711450769936X>

ОБ АВТОРАХ**Алексей Николаевич Фролов¹**

доктор биологических наук, заведующий отделом технологии мясного скотоводства и производства говядины
forleh@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4525-2554>

Олег Александрович Завьялов¹

доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник
oleg-zavyalov83@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2033-3956>

Зульфия Асхатовна Галиева^{1,2}

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
zulfia2704@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6588-3316>

ABOUT THE AUTHORS**Alexey Nikolaevich Frolov¹**

Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production

forleh@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4525-2554>

Oleg Alexandrovich Zavyalov¹

Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher
oleg-zavyalov83@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2033-3956>

Zulfiya Askhatovna Galieva^{1,2}

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
zulfia2704@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6588-3316>

Тимур Бажикенович Алдыаров¹

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
aldyyarov97@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8636-7553>

Ерлан Сагитович Медетов¹

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
erlanmedetov29@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9424-4254>

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, ул. 9 Января, 29, Оренбург, 460000, Россия

²Башкирский государственный аграрный университет, ул. 50-летия Октября, 34, Уфа, 450001, Россия

Timur Bazhikenovich Aldyarov¹

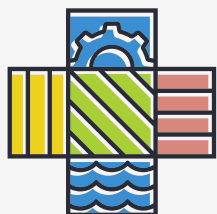
Candidate of Agricultural Sciences, Researcher
aldyyarov97@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8636-7553>

Erlan Sagitovich Medetov¹

Candidate of Agricultural Sciences, Researcher
erlanmedetov29@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9424-4254>

¹Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9th January Str., Orenburg, 460000, Russia

²Bashkir State Agrarian University, 34 50-letiya Oktyabrya Str., Ufa, 450001, Russia



ВЕТЕРИНАРИЯ
В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ
КОМПЛЕКСЕ

XV Международная
научно-практическая конференция

ВЕТЕРИНАРИЯ В АПК
2-4 ИЮНЯ 2026

СОЗДАЁМ КОМФОРТНОЕ ПРОСТРАНСТВО
ДЛЯ ЖИВОГО ОБЩЕНИЯ И РЕШЕНИЯ РЕАЛЬНЫХ ЗАДАЧ АПК



НОВОСИБИРСК
ЭКСПО ЦЕНТР

НОВОСИБИРСК, УЛ. СТАНЦИОННАЯ, 104

ОТСКАНИРУЙТЕ
И УЗНАЙТЕ
ПОДРОБНОСТИ

