

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 4. С. 18-30.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No .4. P. 18-30.

ФИЗИОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Научная статья

УДК 636.22/.28.082.13:591.147

doi:10.33284/2658-3135-108-4-18

Гормональный и элементный профиль бычков, оцененный по волосу, как маркер адаптационного ответа на экстремальные температурные воздействия

Алексей Николаевич Фролов¹, Олег Александрович Завьялов², Станислав Андреевич Платонов³, Тимур Бажикенович Алдыяров⁴, Зульфия Асхатовна Галиева^{5,6}, Едиге Гапуевич Насамбаев⁷
^{1,2,3,4,5,6}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

⁶Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия

⁷Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск, Республика Казахстан

¹forleh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4525-2554>

²zavyalov83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2033-3956>

³platonstas1994@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9806-412X>

⁴aldyyarov97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8636-7553>

^{5,6}zulfia2704@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6588-3316>

⁷nasambaeve@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0995-7832>

Аннотация. Проведено комплексное исследование влияния экстремальных температур на физиологический статус бычков калмыцкой породы с использованием нового подхода – анализа волосяного покрова как интегрального биомаркера кумулятивного стресса. В ходе исследования установлены статистически значимые изменения гормонального профиля при тепловом стрессе, проявляющиеся в повышении концентрации кортизола, адреналина на 9,95 % и адренокортикотропного гормона (АКТГ) при одновременном снижении тиреоидных гормонов (тироксина – на 43,5 %, трийодтиронина – на 50,3 %). Выявлены существенные нарушения элементного обмена со снижением содержания макроэлементов (К – на 16,7 %, Са – на 12,9 %, Mg – на 33,3 %) и эссенциальных микроэлементов (Fe – на 22,0 %, Zn – на 24,3 %, Со – на 27,9 %) в условиях теплового стресса. Гематологические исследования показали развитие эритроцитопении со снижением количества эритроцитов на 15,9 % и выраженной эозинопении (снижение на 23,0 %). Полученные данные подтверждают высокую информативность волос для мониторинга физиологического состояния животных и демонстрируют необходимость разработки специализированных мероприятий по коррекции выявленных метаболических нарушений у крупного рогатого скота, содержащегося в экстремальных климатических условиях.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, калмыцкая порода, температурный стресс, волосяной покров, гормональный статус, элементный состав, адаптация

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 24-16-00093.

Для цитирования: Гормональный и элементный профиль бычков, оцененный по волосу, как маркер адаптационного ответа на экстремальные температурные воздействия / А.Н. Фролов, О.А. Завьялов, С.А. Платонов, Т.Б. Алдыяров, З.А. Галиева, Е.Г. Насамбаев // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 4. С. 18-30. [Frolov AN, Zavyalov OA, Platonov SA, Aldyarov TB, Galieva ZA, Nasambaeve EG. Hair biomarkers: hormonal and elemental responses of bulls to extreme temperature. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(4):18-30. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-18>

PHYSIOLOGY OF ANIMALS

Original article

Hair biomarkers: hormonal and elemental responses of bulls to extreme temperature

**Alexey N Frolov¹, Oleg A Zavyalov², Stanislav A Platonov³, Timur B Aldyarov⁴,
Zulfiya A Galieva^{5,6}, Edige G Nasambaev⁷**

^{1,2,3,4,5}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

⁶Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

⁷West Kazakhstan Innovative and Technological University, Uralsk, Republic of Kazakhstan

¹forleh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4525-2554>

²zavyalov83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2033-3956>

³platonstas1994@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9806-412X>

⁴aldyarov97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8636-7553>

^{5,6}zulfia2704@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6588-3316>

⁷nasambaev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0995-7832>

Abstract. A comprehensive study was conducted to examine the impact of extreme temperatures on the physiological status of Kalmyk bulls, employing a novel approach: hair analysis as an integral biomarker of cumulative stress. The study revealed statistically significant changes in the hormonal profile during heat stress, specifically an increase in the concentration of cortisol (by 9.95%) and adrenaline, along with adrenocorticotrophic hormone (ACTH). This was accompanied by a simultaneous decrease in thyroid hormones (thyroxine by 43.5%, triiodothyronine by 50.3%). Significant disturbances were also observed in elemental metabolism, with a decrease in the content of macronutrients (K by 16.7%, Ca by 12.9%, Mg by 33.3%) and essential micronutrients (Fe by 22.0%, Zn by 24.3%, Co by 27.9%) under heat stress conditions. Hematological studies indicated the development of erythrocytopenia, characterized by a 15.9% decrease in red blood cell count, and severe eosinopenia (a 23.0% decrease). These findings confirm the high informative value of hair analysis for monitoring the physiological state of animals and highlight the need to develop specialized measures to correct the identified metabolic disorders in cattle maintained in extreme climatic conditions.

Keywords: cattle, Kalmyk breed, thermal stress, hair coat, hormonal status, elemental composition, adaptation

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 24-16-00093.

For citation: Frolov AN, Zavyalov OA, Platonov SA, Aldyarov TB, Galieva ZA, Nasambaev EG. Hair biomarkers: hormonal and elemental responses of bulls to extreme temperature. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(4):18-30. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-18>

Введение.

Интенсификация животноводства в условиях нарастающей климатической изменчивости актуализирует проблему адаптации сельскохозяйственных животных к экстремальным температурным воздействиям. Особую остроту эта проблема приобретает в регионах с резко континентальным климатом, где поголовье крупного рогатого скота в течение года подвергается воздействию как экстремально высоких, так и низких температур (Шакиров Ш.К. и др., 2025). Эти факторы вызывают комплексный стресс-ответ, приводящий к значительным экономическим потерям вследствие снижения продуктивности, ухудшения репродуктивных функций и повышения заболеваемости (Виноградова Н.Д. и Сафронов С.Л., 2024; Habib-Ur-Rahman M et al., 2022). В этой связи разработка надежных систем диагностики донозологических состояний и оценки адаптационного потенциала животных является актуальной задачей современной сельскохозяйственной науки.

Традиционная оценка физиологического статуса, основанная на анализе биохимических и гормональных параметров крови, имеет существенное ограничение, так как отражает сиюминутное состояние организма и сильно зависит от временных факторов (García-Torres S et al., 2021; Russell E et al., 2012). Это затрудняет оценку кумулятивного эффекта длительного воздействия стресс-факторов, таких как хронический температурный стресс. По этой причине поиск надежных интегральных маркеров, позволяющих ретроспективно оценить степень адаптационного напряжения организма, является одной из приоритетных задач современной ветеринарной и зоотехнической науки.

В качестве перспективного биосубстрата для такого мониторинга выступает волосяной покров. В процессе роста волос депонирует в свою структуру широкий спектр биологически активных веществ и элементов, формируя устойчивый во времени профиль, который является интегральным отражением метаболических и эндокринных процессов (Baier F et al., 2019). Гормональный профиль волоса, включая показатели активности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы (кортизол, АКТГ), тиреоидные гормоны (тироксин, трийодтиронин), репродуктивные стероиды (тестостерон, прогестерон, эстрадиол), а также гормоны роста и метаболизма (соматотропин, инсулин), предоставляет уникальную возможность оценить долгосрочный эндокринный ответ на стресс-факторы (Tao S et al., 2011; Campana A et al., 2022). Параллельно элементный состав волоса, будучи тесно связанным с ферментативной активностью, гормональным синтезом и общим метаболическим статусом, служит индикатором нарушений минерального обмена, индуцированных экстремальными температурами (Bandzaite V et al., 2005).

Однако, несмотря на растущий интерес к биомониторингу с использованием волоса, комплексные исследования, одновременно охватывающие столь обширный спектр гормональных и элементных маркеров у бычков в контексте температурного стресса, в доступной литературе представлены фрагментарно. Сочетанный анализ позволяет выявить не изолированные изменения, а целостную картину адаптационной перестройки организма.

Цель исследования.

Комплексная оценка влияния экстремально высоких и низких температур на гормональный и элементный статус бычков, оцененный по волосу.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Бычки калмыцкой породы, кровь, волосы.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), протоколы Женевской конвенции и принципы надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009), Руководство по работе с лабораторными животными (http://fncbst.ru/?page_id=3553). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов. Все процедуры над животными были выполнены в соответствии этическими стандартами, утвержденными Этическим комитетом ФНИЦ БСТ РАН (протокол № 1 от 11.03.2024).

Схема эксперимента. В качестве объекта исследований использовали клинически здоровых бычков калмыцкой породы: I группа (n=20) – животные, содержащиеся в условиях естественного холодового стресса, II группа (n=20) – подвергавшиеся воздействию высоких температур. Отбор биоматериала для лабораторных исследований проводили через 14 суток после начала воздействия экстремальных температурных факторов. Продолжительность адаптационного периода была установлена на основании литературных данных, свидетельствующих о формировании устойчивых физиологических адаптационных реакций организма крупного рогатого скота к температурным стресс-факторам в течение двухнедельного периода (Collier RJ et al., 2017).

Характеристика температур предшествовавших отбору образцов волоса. Температурные условия в период, предшествующий отбору проб, характеризовались экстремальными значениями. В зимний период (февраль) в Мегино-Кангаласском улусе Якутии (СПК «Солоонун») среднесуточная температура составляла от -23 °С до -33 °С днем и опускалась до -38...-46 °С ночью. В июле в Саракташском районе Оренбургской области (ООО «Красногорское») регистрировались аномально высокие температуры: +28...+39 °С – днем и +23...+26 °С – ночью.

Отбор биоматериала. Для проведения анализа уровня гормонов и элементов проводился однократный отбор проб волосяного покрова у бычков с выдержкой после, что позволило минимизировать влияние острого стрессового фактора. Забор биоматериала осуществляли стандартизировано с холки, обеспечивая минимальную навеску 0,4 г для репрезентативности последующих анализов (Miroshnikov S et al., 2015). Все процедуры выполняли с использованием профессионального триммера Heiniger Saphir (Швейцария) с установленной высотой среза не более 1,5 мм. Для исключения внешней контаминации режущие элементы перед каждой процедурой обрабатывали 96 % этанолом, а манипуляции проводили в одноразовых перчатках из инертного винилтеплогового каучука (Elegreen TPE). После отбора образцы помещали в сухие бумажные конверты и хранили в условиях, исключающих воздействие света и влаги, при комнатной температуре до проведения анализа.

Подготовка проб. Предварительная подготовка проб включала многоэтапную процедуру очистки для удаления экзогенных загрязнений. На первом этапе проводили инкубацию образцов в дистиллированной воде при температуре +40...+60 °С в течение 3 часов для удаления водорастворимых примесей. Далее следовала последовательная ультразвуковая обработка в течение 2 часов в 40 %-ном этаноле и бидистиллированной воде (частота – 35 кГц, мощность – 300 (450) Вт, амплитуда – 10 мм) для десорбции липофильных и остаточных контаминантов. Очищенные образцы подвергали гомогенизации в вибрационной мельнице IMC vMILL05 со стальным размольным узлом до достижения медианного размера частиц (d_{50}) 20 мкм, что обеспечивало максимальную площадь поверхности для последующей экстракции аналитов.

Анализ гормонов. Экстракцию широкого спектра стероидных и пептидных гормонов из подготовленного волосяного матрикса проводили по модифицированному протоколу, ранее валидированному для исследований на приматах и человеке (Meyer J et al., 2014).

Количественное определение концентраций гормонов выполняли методом твердофазного иммуноферментного анализа (ELISA) на микропланшетном ридере InfiniteF200 PRO («Tecan», Австрия) с использованием коммерческих наборов реагентов EPIELISAKit («CusabioTechnologyLLC», Китай), специфичных кантигенам крупного рогатого скота.

Анализ химических элементов в волосе. Определение элементного состава проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и технологией Dynamic Reaction Cell (ICP-DRC-MS) на приборе Agilent 7900. Анализ проводили по 26 элементам (Na, Mg, P, K, Ca, Mn, Co, Cu, Cr, Fe, Zn, Se, B, Ni, Ga, Ag, In, Ba, Tl, Bi, Al, Sr, Cd, Hg, Pb, As), что позволяло получить комплексную характеристику минерального статуса животных.

Оборудование и технические средства Исследования выполнены с использованием приборной базы ЦКП БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>). Профессиональная машинка Heiniger Saphir для стрижки лошадей, крупного рогатого скота, собак и кошек («HEINIGER AG», Швейцария), вибрационная мельница IMC vMILL05 («IMC Group», Китай), ротационный испаритель Constructional Vapor («Xi'an Heb Biotechnology Co., Ltd.», Китай), микропланшетный анализатор Infinite F200 PRO («Tecan», Австрия), наборов реагентов EPI ELISA Kit («Cusabio Technology LLC», Китай), вакуумные пробирки APEXLAB для забора крови и с активатором свёртывания («Hebei Xinl Sky & Tech Co., Ltd.», Китай), иглы для забора крови Bodywin, автоматический биохимический анализатор CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd.», Китай), автоматический гематологический анализатор для ветеринарии BC-2900 Vet («Mindray»; Китай), коммерческие биохимические наборы для ветеринарии ДиаВетТест (Россия).

Статистическая обработка. Применение параметрического t-критерия Стьюдента для установления достоверности межгрупповых различий после подтверждения нормальности распределения данных критерием Шапиро-Уилка. Все вычисления выполнялись в среде «Statistica 10.0» («StatSoft Inc.», США) с установленным порогом статистической значимости $P \leq 0,05$. Полученные количественные данные выражены как $M \pm SEM$ (среднее арифметическое \pm стандартная ошибка среднего).

Результаты исследований.

Для объективной оценки функционального состояния организма бычков при длительном воздействии экстремальных температурных факторов был проведен комплексный анализ морфологических и биохимических параметров периферической крови. Исследования стандартизированных показателей, включающих как клеточный состав, так и ключевые параметры белкового, липидного и энергетического обменов, позволяют выявить системные адаптационно-компенсаторные реакции, формирующиеся в ответ на холодовой и тепловой стрессы (табл. 1, 2).

Таблица 1. Биохимические показатели крови бычков калмыцкой породы в зависимости от температуры окружающей среды
Table 1. Biochemical blood parameters of Kalmyk bulls in relation to ambient temperature

Показатель / Indicator	Группа / Group	
	I	II
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	82,34 \pm 1,72	80,62 \pm 1,92
Альбумин, г/л / Albumin, g/l	35,7 \pm 0,86	34,30 \pm 0,96
АлАТ, ед/л / ALT, U/L	21,2 \pm 1,25	23,40 \pm 1,64
АсАТ, ед/л / AST, U/L	96,2 \pm 1,84	94,20 \pm 2,02
Билирубин общ., мкмоль/л / Total bilirubin, μ mol/l	10,9 \pm 0,16	10,56 \pm 0,12
Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, μ mol/l	67,4 \pm 2,08	69,30 \pm 2,08
Щелочная фосфатаза, ед/л / Alkaline phosphatase, U/L	78,1 \pm 2,68	78,60 \pm 2,10
Мочевая кислота, мкмоль/л / Uric acid, μ mol/l	26,73 \pm 1,03	25,18 \pm 0,62*
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	2,88 \pm 0,17	2,64 \pm 0,46
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/l	3,72 \pm 0,39	2,94 \pm 0,59
Триглицериды, ммоль/л / Triglycerides, mmol/l	0,31 \pm 0,01	0,28 \pm 0,02
Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	4,96 \pm 0,12	4,48 \pm 0,11
Кальций, ммоль/л / Calcium, mmol/l	2,01 \pm 0,12	1,78 \pm 0,09
Магний, ммоль/л / Magnesium, mmol/l	1,12 \pm 0,06	0,84 \pm 0,07*
Фосфор, ммоль/л / Phosphorus, mmol/l	1,78 \pm 0,19	1,62 \pm 0,16
Железо, ммоль/л / Iron, mmol/l	29,46 \pm 4,39	31,64 \pm 4,30

Примечание: * – при $P \leq 0,05$ по сравнению с I группой

Note: * – at $P \leq 0.05$ compared to group I

У бычков II группы зафиксировано снижение концентрации мочевой кислоты на 5,8 % ($P \leq 0,05$) и магния – на 25,0 % ($P \leq 0,05$) относительно I группы. В спектре биохимических параметров, не достигших порога статистической значимости, отмечалась устойчивая тенденция к снижению уровня ключевых метаболитов: наблюдается уменьшение концентраций общего белка на 2,1 %, альбумина – на 3,9 %, холестерина – на 21,0 %, триглицеридов – на 9,7%, мочевины – на 9,7 % и кальция – на 11,4 % при воздействии высокой температуры. Показатели азотистого (креатинин) и энергетического (глюкоза) обменов, активность ферментов цитолиза (АсАТ, АлАТ) и холестаза (щелочная фосфатаза), а также уровень билирубина и железа оставались в пределах физиологической нормы и не демонстрировали существенных межгрупповых различий. Полученные данные

свидетельствуют о комплексном воздействии температурного стресса на метаболические процессы, проявляющемся в умеренной гипопроотеинемии, нарушении липидного обмена и электролитном дисбалансе при сохранении функциональной целостности гепатобилиарной системы.

Анализ морфологических показателей крови выявил статистически значимые изменения в эритроцитарной системе и лейкоцитарной формуле у бычков при экстремальных температурных воздействиях (табл. 2). Во II группе зарегистрировано достоверное снижение количества эритроцитов на 15,9 % ($P \leq 0,05$) и концентрации гемоглобина – на 10,7 % ($P \leq 0,05$) по сравнению с I. В лейкоцитарном профиле отмечено статистически значимое снижение относительного содержания эозинофилов на 23,0 % ($P \leq 0,001$) во II группе.

Таблица 2. Морфологические показатели крови бычков калмыцкой породы в зависимости от температуры окружающей среды
Table 2. Hematological parameters of Kalmyk bulls in relation to ambient temperature

Показатель / Indicator	Группа / Group	
	I	II
WBC (количество лейкоцитов), 10^9 кл/л / (White Blood Cell), 10^9 cells/l	9,0±1,39	9,2±1,31
Neu (нейтрофилы), % / (Neutrophils), %	28,3±2,36	31,7±2,04
Lym (лимфоциты), % / (Lymphocytes), %	52,1±4,75	53,3±4,20
Mon (моноциты), % / (Monocytes), %	6,6±0,79	6,6±1,30
Eos (эозинофилы), % / (Eosinophils), %	10,0±0,61	7,7±0,41**
Bas (базофилы), % / (Basophils), %	0,5±0,12	0,7±0,11
Neu (нейтрофилы), 10^9 /л / (Neutrophils), 10^9 /l	2,6±0,41	2,9±0,66
Lym (лимфоциты), 10^9 /л / (Lymphocytes), 10^9 /l	4,7±0,65	4,9±0,44
Mon (моноциты), 10^9 /л / (Monocytes), 10^9 /l	0,58±0,12	0,60±0,24
Eos (эозинофилы), 10^9 /л / (Eosinophils), 10^9 /l	0,87±0,23	0,71±0,27
Bas (базофилы), 10^9 /л / (Basophils), 10^9 /l	0,04±0,03	0,07±0,00
RBC (эритроциты), 10^{12} /л / (Red Blood Cells), 10^{12} /l	6,9±0,35	5,8±0,34*
HGB (концентрация гемоглобина), г/л / (Hemoglobin), g/l	114,9±4,73	102,6±4,05*
HCT (гематокрит), % / (Hematocrit), %	29,7±2,50	30,4±3,15
MCV (средний объём эритроцитов), фл / (Mean Corpuscular Volume), fl	42,6±1,29	43,6±2,52
MCH (средний корпускулярный гемоглобин), пг / (Mean Corpuscular Hemoglobin), pg	18,0±2,82	17,7±1,89
MCHC (средняя концентрация клеточного гемоглобина) г/л / (Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration), g/l	370,6±26,80	358,2±22,03
RDW-CV (точность повторения ширины распределения эритроцитов), % / (Red Cell Distribution Width - Coefficient of Variation), %	15,39±1,16	15,74±1,03
RDW-SD (ширина распределения эритроцитов), фл / (Red Cell Distribution Width - Standard Deviation), fl	26,34±1,54	26,96±2,21
PLT (количество тромбоцитов), 10^9 /л / (Platelet Count), 10^9 /l	261,45±27,31	252,71±25,23

Примечание: * – при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,001$ по сравнению с I группой

Note: * – for $P \leq 0.05$; ** – for $P \leq 0.001$ compared to group I

Общее количество лейкоцитов, абсолютные показатели лейкоцитарной формулы, а также значения тромбоцитов не имели достоверных различий между сравниваемыми группами. Эритроцитарные индексы (MCV, MCH, MCHC), показатели гематокрита и ширина распределения эритро-

цитов (RDW-CV, RDW-SD) оставались в пределах физиологических колебаний и не показывали статистически значимых изменений. Относительное содержание нейтрофилов во II группе показало тенденцию к увеличению на 12,0 %, однако различия не достигли уровня статистической значимости. Полученные данные свидетельствуют о наличии специфических изменений в системе крови при экстремальных температурных воздействиях, проявляющихся эритроцитопенией со снижением концентрации гемоглобина и значимым уменьшением относительного содержания эозинофилов при сохранении основных морфофункциональных характеристик форменных элементов крови.

Для комплексной оценки кумулятивного адаптационного ответа организма на воздействие контрастных температурных факторов был проведен анализ широкого спектра гормонов в волосяном покрове. Полученные данные, отражающие интегральный гормональный статус за продолжительный период, были сопоставлены как между опытными группами, так и с установленным референтным интервалом физиологической нормы (2,5-97,5 перцентиль), что позволяет оценить не только направленность изменений, но и степень отклонения гомеостаза (табл. 3).

Таблица 3. Концентрация гормонов в волосе бычков калмыцкой породы в зависимости от температуры окружающей среды

Table 3. Hair hormone concentrations in Kalmyk bull calves in relation to ambient temperature

Гормон / <i>Hormone</i>	Физиологическая норма (2,5-97,5 референтный интервал) / <i>Physiological norm (2.5-97.5 reference interval)</i>	Группа / <i>Group</i>	
		I	II
Кортизол, нг/г / <i>Cortisol, ng/g</i>	0,551-50,54	57,85±6,60	62,21±11,19
Адреналин, нг/г / <i>Adrenaline, ng/g</i>	0,278-3,974	4,32±0,17	4,75±0,24*
Тестостерон, нг/г / <i>Testosterone, ng/g</i>	3,811-28,306	3,76±1,11	3,59±1,37
Соматотропин, нг/г / <i>Somatotropin, ng/g</i>	0,054-0,980	0,053±0,008	0,048±0,007
ТТГ, нг/г / <i>TSH, ng/g</i>	0,05-0,125	0,07±0,008	0,05±0,006
АКТГ, пг/кг / <i>ACTH, pg/kg</i>	1,710-30,220	33,41±4,65	35,18±2,87*
ФСГ, нг/г / <i>FSH, ng/g</i>	0,024-0,072	0,03±0,007	0,02±0,005
Прогестерон, нг/г / <i>Progesterone, ng/g</i>	0,317-33,343	0,30±8,62	0,29±11,57
Инсулин, пг/г / <i>Insulin, pg/g</i>	0,002-0,021	0,0017±0,0007	0,0015±0,0008
Тироксин, нг/г / <i>Thyroxine, ng/g</i>	140,03-218,00	244,92±18,28	138,15±17,05**
Трийодтиронин, мнг/г / <i>Triiodothyronine, mng/g</i>	2,071-3,312	3,64±0,49	1,81±0,27**
Эстрадиол, пг/г / <i>Estradiol, pg/g</i>	10,08-27,51	10,32±1,02	11,35±1,20

Примечание: * – при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,001$ по сравнению с I группой

Note: * – for $P \leq 0.05$; ** – for $P \leq 0.001$ compared to group I

Анализ данных показал, что у бычков сравниваемых групп наблюдаются выраженные отклонения гормонального профиля от ранее разработанных нами референтных значений. В зимний период было зафиксировано превышение верхней границы нормы для кортизола, адреналина, АКТГ, тироксина и трийодтиронина, в то время как уровень инсулина оказался ниже референтного интервала. В летний период сохранялось повышенное содержание кортизола, адреналина и АКТГ. При этом выявлено статистически значимое снижение концентраций тиреоидных гормонов по сравнению с зимним периодом, так тироксин снизился на 43,5 % ($P \leq 0,001$), трийодтиронин – на 50,3 % ($P \leq 0,001$), причем последний показатель в летний период опустился ниже нижней границы

нормы. Уровень адреналина в летний период был выше, чем в зимней на 9,95 % ($P \leq 0,05$). Концентрации тестостерона, соматотропина, инсулина и ФСГ в обеих группах оставались вблизи или ниже нижней границы референтного интервала, не демонстрируя значимых сезонных различий. Полученные результаты свидетельствуют о значительном напряжении адаптационных систем организма как в зимний, так и летний периоды при воздействии экстремальных температур, что проявляется в характерных изменениях интегрального гормонального профиля волоса.

Интегральная оценка элементного статуса бычков калмыцкой породы, выполненная методом анализа волосяного покрова, выявила статистически значимые сезонные колебания концентраций химических элементов, формирующиеся под влиянием экстремальных температурных нагрузок (табл. 4).

Таблица 4. Концентрация химических элементов в волосе бычков калмыцкой породы в зависимости от температуры окружающей среды, мг/кг

Table 4. Concentration of chemical elements in the hair of Kalmyk bull calves depending on ambient temperature (mg/kg)

Элемент / <i>Element</i>	Группа / <i>Group</i>	
	I	III
Макроэлементы / <i>Macroelements</i>		
K	3064,6±148,9	2551,7±134,0*
Ca	2431,0±67,8	2117,9±79,9**
Mg	655,5±32,2	437,5±46,2***
Na	1714,7±67,3	1597,0±84,7
P	294,1±40,2	281,4±39,9
Эссенциальные микроэлементы / <i>Essential trace elements</i>		
Fe	389,3±21,8	303,5±24,6*
Zn	145,5±12,0	110,1±11,5*
Co	0,068±0,008	0,049±0,003*
Cr	0,460±0,165	0,299±0,392
Cu	11,78±1,095	10,13±1,185
I	0,861±0,104	0,587±0,108
Mn	12,81±1,273	12,25±1,444
Se	0,550±0,103	0,558±0,085
Mo	0,028±0,112	0,042±0,005
Условно-эссенциальные микроэлементы / <i>Conditionally essential trace elements</i>		
B	3,439±0,349	2,702±0,235
Li	0,373±0,262	0,223±0,286
Ni	0,402±0,020	0,243±0,044**
As	0,054±0,013	0,046±0,010
Токсичные микроэлементы / <i>Toxic trace elements</i>		
Al	59,3±4,320	72,7±2,422*
Sr	6,97±1,453	8,86±1,056
Pb	0,642±0,082	0,838±0,096
Sn	0,018±0,002	0,017±0,010
Cd	0,014±0,008	0,011±0,002
Hg	0,004±0,002	0,007±0,003

Примечание: * – при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$, *** – при $P \leq 0,001$ по сравнению с I группой

Note: * – for $P \leq 0.05$; ** – for $P \leq 0.01$, *** – for $P \leq 0.001$ compared to group I

Анализ элементного состава волосяного покрова бычков калмыцкой породы выявил статистически значимые изменения концентраций химических элементов под влиянием экстремальных температурных факторов. В группе животных, содержащихся в условиях повышенных температурных нагрузок, установлено достоверное снижение концентраций основных макроэлементов: калия – на 16,7 % ($P \leq 0,05$), кальция – на 12,9 % ($P \leq 0,01$) и магния – на 33,3 % ($P \leq 0,001$). Среди эссенциальных микроэлементов зафиксировано значимое уменьшение содержания железа на 22,0 % ($P \leq 0,05$), цинка – на 24,3 % ($p \leq 0,05$) и кобальта – на 27,9 % ($P \leq 0,05$), а также снижение концентрации никеля на 39,6 % ($P \leq 0,01$) в группе условно-эссенциальных микроэлементов. В спектре токсичных микроэлементов обнаружено статистически значимое увеличение содержания алюминия на 22,6 % ($P \leq 0,05$) во II группе.

Обсуждение полученных результатов.

Проведенное исследование демонстрирует комплексное влияние экстремальных температур на физиологическое состояние бычков калмыцкой породы. Анализ биохимических параметров крови выявил развитие метаболических нарушений при тепловом стрессе, проявляющихся в умеренной гипопроотеинемии, снижении уровня липидов и нарушении электролитного баланса. Полученные данные согласуются с результатами исследований, показавших угнетение метаболических процессов в печени при тепловом стрессе (Bernabucci U et al., 2010). Значительное снижение уровня магния (на 25,0%) может быть связано с его повышенной экскрецией при нарушении водно-электролитного обмена, что характерно для состояния дегидратации организма при высокой температуре окружающей среды (Collier RJ et al., 2006).

Гематологические исследования показали наличие эритроцитопении со снижением концентрации гемоглобина в группе с повышенной температурной нагрузкой, что может свидетельствовать о нарушении эритропоэза или усиленном разрушении эритроцитов при тепловом стрессе (Apple JK et al., 2011; Chen L et al., 2024). Выраженная эозинопения (снижение на 23,0 %) является классическим маркером активации гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы при хроническом стрессе (Dhabhar FS et al., 2012).

Наиболее значимые изменения выявлены при анализе гормонального статуса волосяного покрова. Повышение уровня кортизола, адреналина и АКТГ в обеих опытных группах свидетельствует об активации системы стресс-реализации как при холодовом, так и при тепловом стрессе (Lacetera N et al., 2006). Обнаруженное значительное снижение тиреоидных гормонов (тироксина – на 43,5 % и трийодтиронина – на 50,3 %) в летний период соответствует данным литературы о подавлении функции щитовидной железы при тепловом стрессе с целью снижения метаболической теплопродукции (Mullur R et al., 2014).

Исследование элементного состава волос выявило выраженные нарушения минерального обмена при экстремальных температурах. Значительное снижение концентраций макроэлементов (K, Ca, Mg) и эссенциальных микроэлементов (Fe, Zn, Co) в группе с повышенной температурной нагрузкой может быть связано как с изменением процессов всасывания в желудочно-кишечном тракте, так и с повышенными потерями этих элементов при терморегуляторных процессах (влияние сезона года на элементный статус и продуктивные качества бычков (Фролов А.Н. и Завьялов О.А., 2024; Spears JW and Weiss WP, 2008). Обнаруженное увеличение содержания алюминия в волосах животных при тепловом стрессе требует дополнительного изучения, но может быть связано с изменением проницаемости биологических барьеров при экстремальных температурных воздействиях (Sanchez WK et al., 1994).

Важным аспектом проведенного исследования является использование волосяного покрова в качестве биосубстрата для оценки кумулятивного воздействия стресс-факторов (Meyer J et al., 2014). Комплексный анализ подтвердил наличие выраженных адаптационных изменений в организме бычков калмыцкой породы при экстремальных температурных воздействиях. Выявленные нарушения свидетельствуют о значительном напряжении компенсаторных механизмов как при холодовом, так и при тепловом стрессе (West JW, 2003).

Заключение.

Проведенное исследование выявило комплексные изменения физиологического статуса бычков калмыцкой породы при экстремальных температурных воздействиях. Установлены значительные нарушения метаболического гомеостаза, проявляющиеся снижением уровня магния на 25,0 % ($P \leq 0,05$) и мочевой кислоты – на 5,8 % ($P \leq 0,05$). Выявлены гематологические изменения, включающие эритроцитопению со снижением количества эритроцитов на 15,9 % ($P \leq 0,05$) и эозинопению (снижение на 23,0 %, $P \leq 0,001$). Анализ волосяного покрова показал повышение концентрации гормонов стресса при одновременном снижении тиреоидных гормонов (тироксин – на 43,5 %, трийодтиронин – на 50,3 %, $P \leq 0,001$). Обнаружены нарушения минерального обмена со снижением содержания макро- и микроэлементов. Полученные данные подтверждают целесообразность использования волосяного матрикса для интегральной оценки воздействия температурных стресс-факторов и необходимость разработки корректирующих мероприятий для животных, находящихся в экстремальных климатических условиях.

Список источников

1. Виноградова Н.Д., Сафронов С.Л. Динамика развития мясного скотоводства в России // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2024. № 2(76). С. 64-74. [Vinogradova ND, Safronov SL. Dynamics of beef cattle breeding in Russia. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2024;2(76):64-74. (*In Russ.*)] doi: 10.24411/2078-1318-2024-2-64-74
2. Последствия влияния теплового стресса в кормопроизводстве и животноводстве из пути их решения (обзор) / Ш.К. Шакиров, Н.Ю. Сафина, А.Л. Аминова, И.Г. Мустафин, В.М. Шириев // Животноводство и кормопроизводство. Т. 108. № 1. С. 96-114. [Shakirov ShK, Safina NYu, Aminova AL, Mustafin IG, Shiriev VM. Consequences of the heat stress in forage production and animal husbandry and ways to solve them (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(1):96-114. (*In Russ.*)] doi: 10.33284/2658-3135-108-1-96
3. Фролов А.Н., Завьялов О.А. Влияние сезона года на элементный статус и продуктивные качества бычков // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 4. С. 31-40. [Frolov AN, Zavyalov OA. The influence of season on the elemental status and productive qualities of bulls. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):31-40. (*In Russ.*)] doi: 10.33284/2658-3135-107-4-31
4. Apple JK, Kegley EB, Galloway DL, Wistuba TJ, Rakes LK. Effects of dietary energy intake and protein concentration on performance and visceral organ mass in finishing beef steers. *Journal of Animal Science*. 2011;89(1):270-281. doi: 10.2527/jas.2010-3306
5. Baier F, Grandin T, Engle T, Edwards-Callaway L. Evaluation of hair characteristics and animal age on the impact of hair cortisol concentration in feedlot steers. *Frontiers in Veterinary Science*. 2019;6:323. doi: 10.3389/fvets.2019.00323
6. Bandzaite V, Klimiene I, Spakauskas V, Matusevicius A. Interaction between the levels of hormones and minerals in sera of healthy and sick cows. *Polish Journal of Veterinary Sciences*. 2005;8(4):269-274.
7. Bernabucci U, Lacetera N, Baumgard LH, Rhoads RP, Ronchi B, Nardone A. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*. 2010;4(7):1167-1183. doi: 10.1017/S175173111000090X
8. Campana A, Valle S, Raminelli S, Favretto D, Pizzol D, Campagnolo M, Pellizzato M, Fadini GP. Profiling steroid and thyroid hormones with hair analysis in a cohort of women: a feasibility study. *Frontiers in Endocrinology*. 2022;13:846171. doi: 10.3389/fendo.2022.846171.
9. Chen L, Thorup VM, Kudahl AB, Østergaard S. Effects of heat stress on feed intake, milk yield, milk composition, and feed efficiency in dairy cows: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*. 2024;107(5):3207-3218. doi: 10.3168/jds.2023-24059

10. Collier RJ, Dahl GE, VanBaale MJ. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2006;89(4):1244-1253. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72193-2
11. Collier RJ, Renquist BJ, Xiao Y. A 100-Year Review: Stress physiology including heat stress. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(12):10367-10380. doi: 10.3168/jds.2017-13676
12. Dhabhar FS, Malarkey WB, Neri E, McEwen BS. Stress-induced redistribution of immune cells--from barracks to boulevards to battlefields: a tale of three hormones--Curt Richter Award winner. *Psychoneuroendocrinology*. 2012;37(9):1345-1368. doi: 10.1016/j.psyneuen.2012.05.008
13. García-Torres S, Cabeza de Vaca M, Tejerina D, Romero-Fernández MP, Ortiz A, Franco D, Sentandreu MA, Oliván M. Assessment of stress by serum biomarkers in calves and their relationship to ultimate pH as an indicator of meat quality. *Animals*. 2021;11(8):2291. doi: 10.3390/ani11082291
14. Habib-Ur-Rahman M, Ahmad A, Raza A, Hasnain MU, Alharby HF, Alzahrani YM, Bamagoos AA, Hakeem KR, Ahmad S, Nasim W, Ali S, Mansour F, El Sabagh A. Impact of climate change on agricultural production; Issues, challenges, and opportunities in Asia. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:925548. doi: 10.3389/fpls.2022.925548
15. Lacetera N, Bernabucci U, Scalia D, Basiricò L, Morera P, Nardone A. Heat stress elicits different responses in peripheral blood mononuclear cells from Brown Swiss and Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2006;89(12):4606-4612. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72510-3
16. Meyer J, Novak M, Hamel A, Rosenberg K. Extraction and analysis of cortisol from human and monkey hair. *Journal of Visualized Experiments*. 2014;24(83):e50882. doi: 10.3791/50882
17. Miroshnikov S, Kharlamov A, Zavyalov O, Frolov A, Bolodurina I, Arapova O, Duskaev G. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2015;14(9):632-636. doi: 10.3923/pjn.2015.632.636
18. Mullur R, Liu YY, Brent GA. Thyroid hormone regulation of metabolism. *Physiological Reviews*. 2014;94(2):355-382. doi: 10.1152/physrev.00030.2013
19. 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. doi: 10.1016/j.psyneuen.2011.09.009
20. Sanchez WK, McGuire MA, Beede DK. Macromineral nutrition by heat stress interactions in dairy cattle: review and original research. *Journal of Dairy Science*. 1994;77(7):2051-2079. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(94)77150-2
21. Spears JW, Weiss WP. Role of antioxidants and trace elements in health and immunity of transition dairy cows. *Veterinary Journal*. 2008;176(1):70-76. doi: 10.1016/j.tvjl.2007.12.015
22. Tao S, Bubolz JW, do Amaral BC, Thompson IM, Hayen MJ, Johnson SE, Dahl GE. Effect of heat stress during the dry period on mammary gland development. *J Dairy Sci*. 2011;94(12):5976-86. doi: 10.3168/jds.2011-4329.
23. West JW. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2003;86(6):2131-2144. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X

References

1. Vinogradova ND, Safronov SL. Dynamics of beef cattle breeding in Russia. *News of Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2024;2(76):64-74. doi: 10.24411/2078-1318-2024-2-64-74
2. Shakirov ShK, Safina NYu, Aminova AL, Mustafin IG, Shiriev VM. Consequences of the heat stress in forage production and animal husbandry and ways to solve them (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(1):96-114. doi: 10.33284/2658-3135-108-1-96
3. Frolov AN, Zavyalov OA. The influence of season on the elemental status and productive qualities of bulls. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):31-40. doi: 10.33284/2658-3135-107-4-31

4. Apple JK, Kegley EB, Galloway DL, Wistuba TJ, Rakes LK. Effects of dietary energy intake and protein concentration on performance and visceral organ mass in finishing beef steers. *Journal of Animal Science*. 2011;89(1):270-281. doi: 10.2527/jas.2010-3306
5. Baier F, Grandin T, Engle T, Edwards-Callaway L. Evaluation of hair characteristics and animal age on the impact of hair cortisol concentration in feedlot steers. *Frontiers in Veterinary Science*. 2019;6:323. doi: 10.3389/fvets.2019.00323
6. Bandzaite V, Klimiene I, Spakauskas V, Matusevicius A. Interaction between the levels of hormones and minerals in sera of healthy and sick cows. *Polish Journal of Veterinary Sciences*. 2005;8(4):269-274.
7. Bernabucci U, Lacetera N, Baumgard LH, Rhoads RP, Ronchi B, Nardone A. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*. 2010;4(7):1167-1183. doi: 10.1017/S175173111000090X
8. Campana A, Valle S, Raminelli S, Favretto D, Pizzol D, Campagnolo M, Pellizzato M, Fadini GP. Profiling steroid and thyroid hormones with hair analysis in a cohort of women: a feasibility study. *Frontiers in Endocrinology*. 2022;13:846171. doi: 10.3389/fendo.2022.846171.
9. Chen L, Thorup VM, Kudahl AB, Østergaard S. Effects of heat stress on feed intake, milk yield, milk composition, and feed efficiency in dairy cows: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*. 2024;107(5):3207-3218. doi: 10.3168/jds.2023-24059
10. Collier RJ, Dahl GE, VanBaale MJ. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2006;89(4):1244-1253. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72193-2
11. Collier RJ, Renquist BJ, Xiao Y. A 100-Year Review: Stress physiology including heat stress. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(12):10367-10380. doi: 10.3168/jds.2017-13676
12. Dhabhar FS, Malarkey WB, Neri E, McEwen BS. Stress-induced redistribution of immune cells--from barracks to boulevards to battlefields: a tale of three hormones--Curt Richter Award winner. *Psychoneuroendocrinology*. 2012;37(9):1345-1368. doi: 10.1016/j.psyneuen.2012.05.008
13. García-Torres S, Cabeza de Vaca M, Tejerina D, Romero-Fernández MP, Ortiz A, Franco D, Sentandreu MA, Oliván M. Assessment of stress by serum biomarkers in calves and their relationship to ultimate pH as an indicator of meat quality. *Animals*. 2021;11(8):2291. doi: 10.3390/ani11082291
14. Habib-Ur-Rahman M, Ahmad A, Raza A, Hasnain MU, Alharby HF, Alzahrani YM, Bamagoos AA, Hakeem KR, Ahmad S, Nasim W, Ali S, Mansour F, El Sabagh A. Impact of climate change on agricultural production; Issues, challenges, and opportunities in Asia. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:925548. doi: 10.3389/fpls.2022.925548
15. Lacetera N, Bernabucci U, Scalia D, Basiricò L, Morera P, Nardone A. Heat stress elicits different responses in peripheral blood mononuclear cells from Brown Swiss and Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2006;89(12):4606-4612. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72510-3
16. Meyer J, Novak M, Hamel A, Rosenberg K. Extraction and analysis of cortisol from human and monkey hair. *Journal of Visualized Experiments*. 2014;24(83):e50882. doi: 10.3791/50882
17. Miroshnikov S, Kharlamov A, Zavyalov O, Frolov A, Bolodurina I, Arapova O, Duskaev G. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2015;14(9):632-636. doi: 10.3923/pjn.2015.632.636
18. Mullur R, Liu YY, Brent GA. Thyroid hormone regulation of metabolism. *Physiological Reviews*. 2014;94(2):355-382. doi: 10.1152/physrev.00030.2013
19. 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. doi: 10.1016/j.psyneuen.2011.09.009
20. Sanchez WK, McGuire MA, Beede DK. Macromineral nutrition by heat stress interactions in dairy cattle: review and original research. *Journal of Dairy Science*. 1994;77(7):2051-2079. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(94)77150-2
21. Spears JW, Weiss WP. Role of antioxidants and trace elements in health and immunity of transition dairy cows. *Veterinary Journal*. 2008;176(1):70-76. doi: 10.1016/j.tvjl.2007.12.015

22. Tao S, Bubolz JW, do Amaral BC, Thompson IM, Hayen MJ, Johnson SE, Dahl GE. Effect of heat stress during the dry period on mammary gland development. *J Dairy Sci.* 2011;94(12):5976-86. doi: 10.3168/jds.2011-4329.

23. West JW. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science.* 2003;86(6):2131-2144. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X

Информация об авторах:

Алексей Николаевич Фролов, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел. 8(3532) 30-81-78.

Олег Александрович Завьялов, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел. 8(3532) 30-81-78.

Станислав Андреевич Платонов, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 89619483786.

Тимур Бажикенович Алдыяров, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29.

Зульфия Асхатовна Галиева, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, 460000, Российская Федерация; доцент, Башкирский государственный аграрный университет, 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, д. 34.

Едиге Гапуевич Насамбаев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры ветеринарии и техносферной безопасности. Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, 090000, Республика Казахстан, г. Уральск, проспект Нұрсұлтан Назарбаев, строение 208, тел.: 8 (7112) 51-12-33.

Information about the authors:

Alexey N Frolov, Dr Sci. (Biology), Leading Researcher of the Department of Beef Cattle Breeding and Beef Production Technology, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: +7 (3532) 30-81-78.

Oleg A Zavyalov, Dr Sci. (Biology), Leading Researcher of the Department of Beef Cattle Breeding and Beef Production Technology, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Stanislav A Platonov, Cand. Sci. (Biology), Researcher at the Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 89619483786.

Timur B Aldyarov, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher at the Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Zulfiya A Galieva, Cand. Sci. (Agriculture), Researcher of the Department of Beef Cattle Breeding and Beef Production Technology, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000; Associate Professor, Bashkir State Agrarian University, 34, 50-letiya Oktyabrya St., Ufa, 450001, Republic of Bashkortostan.

Edige G Nasambaev, Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Department of Veterinary Medicine and Technosphere Safety, West Kazakhstan Innovative and Technological University, Uralsk, N. Nazarbayev Avenue, 208, Republic of Kazakhstan, 090000. tel.: 8 (7112) 51-12-33.

Статья поступила в редакцию 21.10.2025; одобрена после рецензирования 14.11.2025; принята к публикации 15.12.2025.

The article was submitted 21.10.2025; approved after reviewing 14.11.2025; accepted for publication 15.12.2025.