

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-10-26>

Тепловой стресс при разведении крупного рогатого скота на Северном Кавказе: анализ и опыт Республики Дагестан

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Евгений Олегович Крупин
E-mail: evgeny.krupin@gmail.com

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Крупин Е.О., Оздемиров А.А., Зухрабов М.Г.
Тепловой стресс при разведении крупного рогатого скота на Северном Кавказе: анализ и опыт Республики Дагестан. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(1):10-26. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-10-26> EDN HADFYE

ПОСТУПИЛА: 15.12.2025

ДОРАБОТАНА: 05.03.2026

ПРИНЯТА: 13.03.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

COPYRIGHT: © 2026 Крупин Е.О., Оздемиров А.А., Зухрабов М.Г.



Е.О. Крупин ¹ , А.А. Оздемиров ² , М.Г. Зухрабов ³

¹ Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

² Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия

³ Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова, Махачкала, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. В условиях высоких температур организм крупного рогатого скота самостоятельно регулирует свои физиологические и поведенческие реакции для поддержания внутренней температуры тела в безопасном диапазоне. Температурно-влажностный индекс (ТВИ или ТНІ) является важным экологическим показателем и может помочь определить степень теплового стресса. При этом остается недостаточно изученным влияние факторов внешней среды на развитие скотоводства в специфических агроклиматических условиях регионов Северного Кавказа, в частности Республики Дагестан, где высокая тепловая нагрузка может быть существенным лимитирующим фактором.

ЦЕЛЬ. Получить новые знания о воздействии факторов внешней среды на развитие скотоводства в регионе и установлении их взаимосвязи с достижением производственных показателей на примере разведения крупного рогатого скота в разрезе градации значений ТВИ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В качестве объектов анализа были использованы источники баз научного цитирования, статистические данные сельхозпредприятий всех категорий Республики Дагестан и климатические данные. Оценка включала расчет ТВИ, анализ производства скота на убой в живом и убойном весе, объемов выращивания скота в расчете на 1 голову, производства молока и надоя на 1 корову, а также расхода всех кормов.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В регионе выявлены условия, характерные для теплового стресса у крупного рогатого скота (38,67 % значений индекса ТВИ от общего количества проанализированных). Наибольшая тепловая нагрузка на скот отмечается в июле. С увеличением доли значений индекса ТВИ, соответствующих тепловому стрессу, наблюдали определенное снижение производства скота на убой в живом и убойном весе, производства молока, надоя молока на одну корову, увеличение выращивания скота в расчете на 1 голову, расхода кормов для всех половозрастных групп крупного рогатого скота. Величина ТВИ имела достоверную отрицательную средней силы (умеренную) взаимосвязь с показателями объемов производства крупного рогатого скота на убой в живом и убойном весе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Полученные результаты заполняют существовавший пробел в оценке влияния климатических факторов на продуктивность скотоводства в условиях Дагестана и могут служить основой для разработки адаптационных технологий содержания крупного рогатого скота в регионе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: температурно-влажностный индекс, ТВИ, крупный рогатый скот, скотоводство, производство скота, производство молока, надой, расход кормов

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-10-26>

Thermal stress in cattle breeding in the North Caucasus: Analysis and experience of the Republic of Dagestan

CORRESPONDENCE:

Evgeny O. Krupin
E-mail: evgeny.krupin@gmail.com

FOR CITATION:

Krupin E.O., Ozdemirov A.A.,
Zukhrabov M.G.
Thermal stress in cattle breeding
in the North Caucasus: Analysis
and experience of the Republic
of Dagestan. *Agrarian Bulletin of the
North Caucasus*. 2026;16(1):10-26.
(In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-10-26>

RECEIVED: 15.12.2025

REVISED: 05.03.2026

ACCEPTED: 13.03.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Krupin E.O.,
Ozdemirov A.A.,
Zukhrabov M.G.



Evgeny O. Krupin ¹ , Alimsoltan A. Ozdemirov ² ,
Mirzabek G. Zukhrabov ³

¹ Tatar Research Institute of Agriculture, a branch of the Federal Research Center
“Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Kazan, Russia

² Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan, Makhachkala,
Russia

³ Dagestan State Agricultural University named after M.M. Dzhambulatov,
Makhachkala, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Under high-temperature conditions, the bovine organism independently regulates its physiological and behavioral responses to maintain internal body temperature within a safe range. The Temperature-Humidity Index (THI) is an important ecological indicator, which can help to determine the degree of thermal stress. However, the impact of environmental factors on the development of cattle breeding in the specific agroclimatic conditions of the North Caucasus regions, particularly the Republic of Dagestan, where high thermal load may be a significant limiting factor, remains insufficiently studied.

AIM. To obtain new knowledge regarding the impact of environmental factors on the development of cattle breeding in the Dagestan region and to establish their relationship with the achievement of production indicators using the example of cattle breeding in the context of THI value gradations.

MATERIALS AND METHODS. The study is based on sources from scientific databases, statistical data from agricultural enterprises of all categories in the Republic of Dagestan, and climatic data. The assessment included calculating the THI, analyzing livestock production for slaughter in live and carcass weight, livestock rearing volumes per head, milk production and milk yield per cow, as well as total feed consumption.

RESULTS. Conditions characteristic of heat stress in cattle were identified in the region (38.67% of the analyzed THI index values). The highest thermal load on livestock is observed in July. With an increase in the proportion of THI index values corresponding to heat stress, a certain decrease was observed in livestock production for slaughter in live and carcass weight, milk production, and milk yield per cow, alongside an increase in livestock rearing per head and feed consumption for all age and sex groups of cattle. The THI value had a significant, moderate negative correlation with the production volumes of cattle for slaughter in live and carcass weight.

CONCLUSION. The obtained results fill the existing gap in assessing the impact of climatic factors on livestock productivity in the conditions of Dagestan and can serve as a basis for developing adaptive technologies for cattle management in the region.

KEYWORDS: temperature-humidity index, THI, cattle, cattle breeding, livestock production, milk production, milk yield, feed consumption

ВВЕДЕНИЕ

Глобальное потепление, связанное с изменением климата, скорее всего, продолжится, несмотря на все меры по смягчению последствий, принимаемые человечеством. Потепление атмосферы может влиять на мировое животноводство напрямую, ухудшая здоровье, благополучие и продуктивность животных, а также косвенно – снижая качество и количество кормов. В условиях высоких температур организм крупного рогатого скота самостоятельно регулирует свои физиологические и поведенческие реакции для поддержания внутренней температуры тела в безопасном диапазоне. Однако при более интенсивном и продолжительном воздействии высоких температур этого может быть недостаточно. Наиболее тяжело переживают тепловой стресс животные, которых кормят вволю, чтобы добиться максимальной скорости роста, что приводит к значительному повышению температуры их тела. Животные перестают пастись, ищут тень, тяжело дышат и проводят больше времени у поилок. Кроме того, у животных сокращается время жвачки, изменяется как уровень продуктивности, так и физико-химические показатели получаемого молока [1–3].

Отмечается ухудшение общего состояния, слабость, умеренное повышение температуры, тахипноэ и тахикардия. Зачастую метаболические изменения отражают дефицит субстратов основного обмена, которые наиболее выражены у коров новотельного периода и позднего сухостоя – достоверное снижение показателей белкового, липидного и углеводного обмена. Во время теплового стресса (как при легком, так и при стрессе средней и тяжелой степени по сравнению с термонейтральным периодом) у скота наблюдается увеличение значений внеклеточного белка теплового шока 70 (eHsp70), фактора некроза опухоли α , кортизола, инсулина, мочевины, креатинина, общего билирубина, аспаратаминотрансферазы, гамма-глутамилтрансферазы, лактатдегидрогеназы, креатинкиназы, а также снижение значений трийодтиронина, тироксина, неэтерифицированных жирных кислот, глюкозы, β -гидроксibuтирата, кальция, фосфора, общего белка, альбумина, триглицеридов и холестерина. На величину изменения перечисленных показателей оказывает влияние стадия лактации. Отдельные нозологии и сезон обуславливают особенности изменения биомаркеров при тепловом стрессе. Так, у здоровых коров происходит повыше-

ние протеинового спектра крови, а у животных с гепатопатологией, наоборот, наблюдается ингибирование белкового метаболизма. Установлена более высокая активность аминотрансфераз и щелочной фосфатазы в сыворотке крови коров в летний период относительно весеннего [4–6].

Казалось, измерение таких показателей, как уровень кортизола в плазме крови и температуры в прямой кишке, влагалище или рубце, могут быть полезны в части оценки теплового стресса, но являются достаточно инвазивными. Их измерение может вызвать дополнительный стресс у животных из-за манипуляций, которые сами по себе могут исказить результаты. Желательно внедрять не инвазивные альтернативы. Инфракрасная термометрия, например, является оптимальным решением. Предложена термометрия в подмышечной впадине. Считается, что этот метод более чувствителен к температурному режиму окружающей среды, чем ректальная температура. Температура в подмышечной впадине отражает температуру внутренних органов. Кроме того, лоб является относительно надежным участком для оценки теплового стресса, отражающего ректальную температуру, по сравнению с глазами, ушами, щеками, боками, крупом, передней и задней частью вымени [3; 7; 8].

Последствия и тяжесть теплового стресса зависят не только от климатических условий, но и генотипа животных. Установлено, что суточное потребление корма снижается на 0,45 кг в день при каждом увеличении индекса, отражающего тяжесть теплового стресса. Описано влияние систем содержания стада, систем вентиляции, способов доения и утилизации навоза на различия в величинах потерь молока, обусловленных тепловым стрессом. В моделях с экстремально жаркими условиями, вызывающими тепловой стресс, установлено, что средняя относительная погрешность прогнозирования надоев от каждой коровы составляет около 18 % от суточного удоя и всего 2 % от общего надоя [9–11].

Кроме того, сообщалось, что значительно влияние тепловой нагрузки на уровень соматических клеток и белка в молоке. Так, существует взаимосвязь между компонентами молока и соматическими клетками, с одной стороны, и не только температурой, но и влажностью окружающей среды – с другой. При повышении температуры с 6,2 до 31,3 °С содержание молочного белка, жира, сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО) и соматических клеток значительно снижалось. При этом количе-

ство микроорганизмов в молоке значительно увеличивалось – примерно на 13,7 %. При повышении влажности с 54 до 82 % содержание молочного белка, жира, СОМО и соматических клеток значительно повышалось. Однако при таком же повышении влажности количество микроорганизмов в молоке снижалось на 16,3 % [12; 13].

Для количественной оценки тяжести теплового стресса у молочных коров было разработано множество тепловых индексов, о чем упоминали выше. Температурно-влажностный индекс (ТВИ или THI) является важным экологическим показателем и может помочь определить степень теплового стресса, но не отражает физиологические изменения, происходящие в организме молочных коров при этом. Однако одновременное измерение ТВИ и физиологических показателей (например, температуры тела) было бы полезным для повышения молочной продуктивности скота. Успешная разработка методов автоматического определения показателей позволяет сочетать ТВИ с другими физиологическими показателями (например, температурой тела и двигательной активностью), что поможет комплексно оценивать тепловой стресс у молочных коров и окажет важную техническую поддержку в его предотвращении [14; 15].

Причем микроклиматические параметры (температура, относительная влажность, величины индекса) следует измерять во время доек, в различных точках помещения и достаточно длительно, чтобы накопить существенный массив данных для глубокой аналитики. Существует и скорректированный индекс ТВИ (THI_{adj}), индекс тепловой нагрузки (HLI) и индекс (THIPST), в котором вместо температуры воздуха используется температура поверхности загона. Системы мониторинга параметров микроклимата позволили создать и эффективно использовать в работе информационную модель влияния температурно-влажностных режимов в коровнике на молочную продуктивность животных. Модель позволяет контролировать физиологическое состояние лактирующих коров и с учетом метеопрогноза заблаговременно выполнять организационно-технологические мероприятия для создания комфортных условий для животных [16–18].

Индекс ТВИ широко используется для оценки теплового стресса как в условиях умеренной, так и высокой температуры у молочного скота. Однако исследователи по-разному определяют подходящий диапазон значений ТВИ для обозначения различных уров-

ней стресса. При ТВИ = 72 у животных происходит мало или почти не происходит никаких изменений, но при ТВИ = 74 наблюдаются значительные физиологические изменения. В диапазоне ТВИ от 74 до 79 резких изменений этих параметров не происходит, что позволяет предположить, что в этом диапазоне животные проходят через временную акклиматизацию для поддержания гомеостаза. Как только индекс ТВИ достигает 80 и превышает это значение, гомеостаз нарушается, и у животных снова происходят серьезные физиологические изменения. В целом исследование показывает, что значения индекса ТВИ, указывающие на уровень теплового стресса, зависят от географического положения и вида животного. В другом исследовании также отмечалось, что значения ТВИ ниже 72 означают, что организм коровы находится в благоприятных условиях окружающей среды и не подвержен тепловому стрессу. При индексе ТВИ от 75 до 78 организм животного испытывает тепловой стресс, но механизмы терморегуляции все еще справляются со своей задачей. А вот при индексе ТВИ выше 78 стресс настолько силен, что механизмы терморегуляции не могут поддерживать нормальную температуру тела, а сам показатель существенно ниже пороговых значений, приведенных выше. Отличны и нижеследующие результаты: так, описано, что утром коровы находятся в термонейтральной зоне (индекс ТВИ = 69,59), в полдень испытывают умеренный тепловой стресс (индекс ТВИ = 79,61), а во второй половине дня – сильный (индекс ТВИ = 91,69). Дополнительно установлено, что при сильном тепловом стрессе ректальная температура у стельных лактирующих коров выше аналогичного показателя у нестельных лактирующих коров. Кроме того, температура не влияет на частоту дыхания, равно как и индекс влажности. При умеренном стрессе у стельных коров частота дыхания все-таки несколько (на 1,9 и 2,0 %) выше по сравнению с таковой у нестельных коров при умеренном и сильном стрессе соответственно. В целом, на молочных фермах в регионах с умеренным климатом выявлены оптимальные значения температуры, влажности и индекса ТВИ: 14–18,5 °С, 65–70 % и 52,5–64,5 соответственно [19–22].

Лишь в нескольких исследованиях приводятся пороговые значения температурно-влажностного индекса (ТВИ) для температуры поверхности тела. Средняя температура головы, глаз, щек, ушей, шеи, туловища, вымени, передних и задних конечностей более подходит для определения пороговых значений, чем максимальная. Пороговое значение для щек (ТВИ = 69,1) было самым низким среди поро-

говых значений. На сегодняшний день недостаточно изучено совокупное влияние климата, времени года и расположения фермы на продуктивность различных пород крупного рогатого скота. ТВИ оказал значительное влияние на молочную продуктивность, индекс упитанности и индекс здоровья, а ТВИ = 75 был определен как порог теплового стресса в другом исследовании. Его результаты показывают, что для улучшения первичных и функциональных породных признаков молочного скота, выращиваемого в сложных условиях, необходимо учитывать не только экологические, социальные и климатические факторы одновременно. Значения ТВИ внутри и снаружи коровника сильно коррелировали ($P < 0,001$), а регрессия, предсказывающая значение ТВИ внутри коровника на основе значения ТВИ снаружи, была статистически значимой ($P < 0,001$). Однако регрессии для конкретных ферм имели существенно различающиеся точки пересечения с осью ординат. Включение в регрессию типа отела (осенью или круглый год) и календарного месяца по отдельности или вместе улучшило результаты. Доверительный интервал (CI) 95 % для прогноза составил 10,8 единицы ТВИ для простой однокомпонентной модели (ТВИ снаружи) и 7,8 для трехкомпонентной модели (ТВИ снаружи, календарный месяц, тип отела). Учитывая, что одна единица индекса ТВИ соответствует снижению надою у коров, испытывающих тепловой стресс, примерно на 200 мл, такие ошибки будут иметь биологическое и коммерческое значение [23–25].

Использование данных местных метеостанций для оценки условий на фермах могут привести к недооценке уровня теплового стресса у молочных коров. Адаптация расчета индекса ТВИ с учетом максимальной температуры и минимальной относительной влажности воздуха, полученных с местной метеостанции, вместо их средних значений позволила лучше оценить микроклимат в коровнике. Однако разница между индексом ТВИ, измеренным на ферме, и адаптированным индексом ТВИ, рассчитанным на основе данных метеостанции, оставалась значительной. Несмотря на то, что адаптация индекса ТВИ позволила приблизить его к условиям на ферме, индекс ТВИ, рассчитанный на основе данных метеостанции, следует использовать для оценки уровня теплового стресса у молочных коров только в том случае, если пороговые значения теплового стресса адаптированы с учетом этих данных. Согласно результатам метаанализа, при индексе ТВИ > 72 средний размер эффекта для надоев составляет 50 %,

а степень влияния частоты дыхания и ректальной температуры – примерно 65 и 38 % соответственно. Все три параметра оказывают значительное влияние при тепловом стрессе ($P < 0,0001$). Доказана линейная зависимость между индексом ТВИ, надоем и физиологическими показателями. Что касается других характеристик, то частота дыхания была определена как основной параметр реакции на повышение индекса ТВИ [26; 27].

Несмотря на то, что сухостойные коровы более устойчивы к высоким температурам, чем лактирующие, из-за того, что они не дают молоко, для оценки степени теплового напряжения и потребности в охлаждении в настоящее время используются те же пороговые значения. Пороговые значения температурно-влажностного индекса, при которых у сухостойных коров начинали меняться частота дыхания и ректальная температура, были определены при ТВИ = 77. Значительных пороговых значений ТВИ для потребления сухого вещества выявлено не было. На практике установлено, что у сухостойных коров частота дыхания и ректальная температура резко возрастают при ТВИ = 77. Таким образом, при отсутствии активного охлаждения за сухостойными коровами необходимо тщательно наблюдать, когда индекс ТВИ = 77 или приближается к этому значению, чтобы избежать дальнейших нарушений, связанных с тепловым стрессом, во время сухостойного периода и последующей лактации, а также смягчить возможные последствия для потомства [28].

Тепловой стресс – серьезная проблема при разведении молочного скота даже в высокогорных районах, которые обычно ассоциируются с более прохладным климатом. Интегрированные системы растениеводства, животноводства и лесного хозяйства могут быть использованы для обеспечения более благоприятного микроклимата на пастбищах. Мясной скот, например, выигрывает от более мягкой окружающей среды, что способствует производству продуктов питания и рациональному использованию природных ресурсов. У молодняка порог, при котором частота дыхания и частота сердечных сокращений начинали повышаться, был установлен на уровне 69 для обоих показателей или при температуре сухого термометра 21,0 или 21,5 °C соответственно. Порог для температуры тела установлен не был. В совокупности эти результаты свидетельствуют о том, что температура сухого термометра является подходящим показателем для определения теплового дискомфорта в условиях умеренного летнего климата при индивидуальном содержании

в стойлах. Необходимо следить за состоянием молодняка до тех пор, пока температура окружающей среды не достигнет 21,0 °С, что соответствует частоте дыхания 40 вдохов в минуту и ректальной температуре 38,5 °С. Это обеспечит животным комфортные условия и снизит риск ухудшения их состояния и снижения продуктивности из-за гипертермии [29–31].

Цель исследования – получить новые знания о воздействии факторов внешней среды на развитие скотоводства в регионе и установлении их взаимосвязи с достижением производственных показателей на примере разведения крупного рогатого скота в разрезе градации значений температурно-влажностного индекса (ТВИ, THI).

Формулируется гипотеза, что ежегодные различия в достижении величин тех или иных производственных показателей молочного скотоводства (на примере разведения крупного рогатого скота) в регионе могут быть отчасти обусловлены влиянием условий внешней среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Исследование основано на глубоком и всестороннем изучении доступных литературных данных по обозначенной выше проблеме и затрагивают различные аспекты развития молочного скотоводства, отраженные как в российских, так и международных базах цитирования – НЭБ eLIBRARY, Google-Scholar, ScienceDirect, Springer Nature.

Отправными точками исследования служили:

- 1) массив ретроспективных сведений статистического учета интересующих нас показателей в разрезе Республики Дагестан за 2011–2022 гг. Выполнен анализ следующих показателей: производство скота на убой в живом весе (тыс. т) – производство скота на убой в убойном весе (тыс. т) – выращено скота в расчете на 1 голову (кг) (2016–2022 гг., см. раздел «Результаты») – производство молока (тыс. т) – надой молока на 1 корову (кг) – расход всех кормов (тыс. т к. ед.);
- 2) массив ретроспективных климатических данных, полученных на 4 метеостанциях Республики Дагестан, расположенных на равнине (2 метеостанции), предгорье (1 метеостанция) и высокогорье (1 метеостанция) за летние месяцы (июнь, июль, август) 2009–2024 гг. в 6, 9,

12 и 15 синоптические сроки по Гринвичскому меридиану (10, 13, 16 и 19 часов по местному времени соответственно). Выполнен анализ следующих показателей: средняя скорость ветра (м/с), максимальная скорость ветра (м/с), температура воздуха по сухому термометру (°С), температура воздуха по влажному термометру; относительная влажность воздуха (%), температура точки росы (°С).

Поскольку данные статистического учета представляются только в разрезе субъекта Российской Федерации в целом и не содержат пространственной градации (равнина, предгорье, высокогорье), то этот фактор нами не рассматривался.

Методы

Проанализированы сведения статистического учета в разрезе хозяйств всех категорий (хозяйства населения (граждане), сельскохозяйственные организации (все сельхозпредприятия), крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели).

Анализ климатических данных лег в основу вычисления температурно-влажностного индекса (ТВИ, Temperature-Humidity Index (THI)) по методикам E. C. Thom (1959), W. Bianca (1962), H. N. Kibler (1964), NRC (1971), M. K. Yousef (1985), T. L. Mader et al. (2006), A. Berman et al. (2016). Для интерпретации и визуализации использованы средние значения установленных величин индексов, которые совокупно дают устойчивую (робастную) агрегированную оценку за счет большего охвата климатических метрик, используемых при вычислении величины индекса в зависимости от той или иной вышеперечисленной методики. Степень комфортности внешней среды для крупного рогатого скота оценили, соотнеся величину температурно-влажностного индекса (ТВИ) со значениями единых, независимо от методики, критериев по соответствующей шкале G. L. Hahn et al. (2009) [32].

Данные заносили в электронные таблицы. С электронными таблицами работали в программах Microsoft Excel и IBM SPSS Statistics.

Анализ данных

Вычисленные значения индекса ТВИ рассматривали с позиции соответствия или несоответствия критерию «тепловой стресс» в разрезе шкалы G. L. Hahn et al. (2009). В случае, если значение индекса ТВИ соответствовало критерию «тепловой стресс», то на основании градации значений их относили к одной

из следующих степеней тяжести теплового стресса: умеренный, тяжелый и крайне тяжелый. При визуализации взаимосвязи теплового стресса с тем или иным изучаемым производственным показателем применяли не абсолютные значения индекса ТВИ, а их долю за 2011–2022 гг., в совокупности отражающую все степени тяжести теплового стресса. Карту корреляции построили на основании вычисленных значений коэффициентов корреляции Спирмена с учетом нормальности распределения данных и влияния номинальных данных в виде «третьей переменной» – года получения результата за период с 2011 по 2022 г. (2016–2022 гг. для показателя «выращено скота в расчете на 1 голову (кг)»), причем в этом случае использованы фактические значения индекса ТВИ вместо долей.

Статус материалов

Все рисунки являются авторскими построениями, полученными на основании интерпретации и визуализации первичных данных.

Источники данных

- российские и международные базы цитирования;
- отчеты Федеральной службы государственной статистики в разрезе хозяйств всех форм собственности Республики Дагестан за 2011–2022 гг.;
- массивы климатических данных метеостанций Республики Дагестан за 2009–2024 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ величин значений индекса ТВИ за летние месяцы 2009–2024 гг. показал, что в Республике

Дагестан условия внешней среды соответствуют критерию «тепловой стресс» (рисунок 1). За 4 синоптических срока суммарно доля таковых значений составила 38,67 %, тогда как 61,33 % значений указывали на его отсутствие. Причем установлены значения индекса ТВИ, характерные для всех трех степеней тяжести теплового стресса: умеренного, тяжелого и крайне тяжелого. В структуре значений наибольшую долю занимали значения, характерные для умеренного теплового стресса – 27,74 %, тогда как доля значений тяжелого теплового стресса была на 17,75 % ниже и составила 9,99 %. Минимальная доля значений была характерна для крайне тяжелого теплового стресса – 0,94 %.

В каждый из летних месяцев, но в разной доле, были представлены величины индекса ТВИ, соответствующие всем трем выявленным степеням тяжести теплового стресса у крупного рогатого скота (рисунок 2). Наиболее благоприятным для скота являлся июнь с минимальной долей значений индекса ТВИ, соответствующих тепловому стрессу, – 23,79 %, а наименее благоприятным – июль с максимальной долей значений ТВИ, характерных для теплового стресса, – 48,83 %. В августе аналогичная доля значений индекса ТВИ составила 45,96 %. В июле и августе наблюдается не только увеличение доли значений ТВИ, соответствующих тепловому стрессу, но в их структуре увеличивается доля значений, соответствующих умеренному тепловому стрессу на 14,31 и 9,97 %, тяжелому тепловому стрессу – на 9,45 и 10,72 % и крайне тяжелому тепловому стрессу – на 1,28 и 1,48 % соответственно. В целом же преобладает доля значений, свойственных умеренному тепловому стрессу в каждый из летних месяцев: 20,26 % в июне, 34,57 и 30,23 % в июле и августе соответственно.

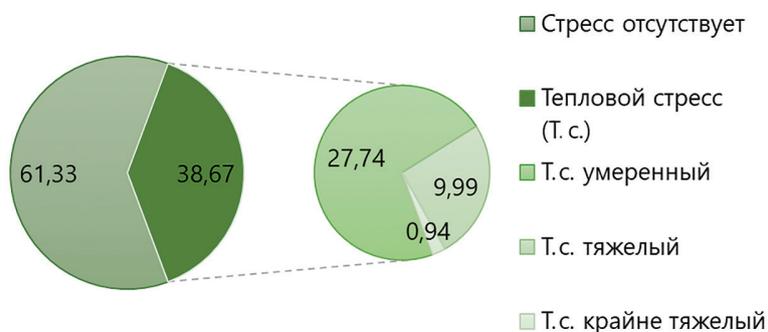


Рисунок 1

Градация теплового стресса по степени тяжести в зависимости от величины индекса ТВИ за летние месяцы 2009–2024 гг., %

Figure 1

Gradation of heat stress by severity level based on the THI index value for the summer months of 2009–2024, %



Рисунок 2

Градация теплового стресса по степени тяжести в зависимости от величин индекса ТВИ по месяцам, %

Figure 2

Gradation of heat stress by severity level based on the THI values by month, %

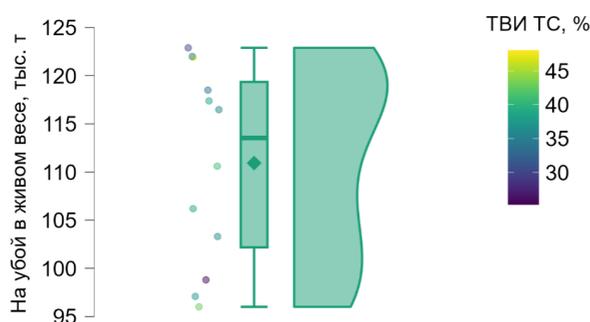


Рисунок 3

Производство скота на убой в живом весе в зависимости от градаций ТВИ

Figure 3

Production of livestock for slaughter in live weight depending on THI gradations

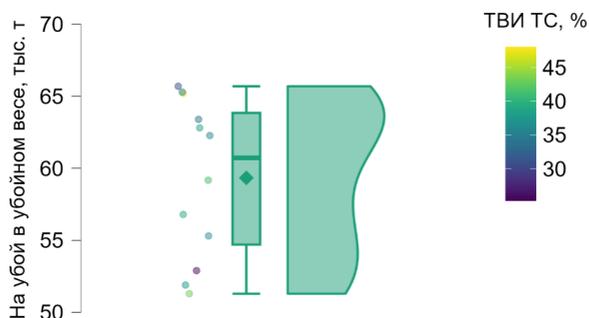


Рисунок 4

Производство скота на убой в убойном весе в зависимости от градаций ТВИ

Figure 4

Slaughter production in slaughter weight, depending on the THI gradations

Производство скота на убой в живом весе за изучаемый период имело восходящий тренд ($y = -0,1208x^2 + 4,3363x + 89,28$, $R^2 = 0,9619$). Среднегодовое значение составило 110,93 тыс. т. При этом медиана превышала среднее значение на 2,35 % и составила 113,54 тыс. т. Нижний и верхний квартили боксплота расположились в диапазоне от 102,18 до 119,35 тыс. т с размахом усов от 96,00 (2012 г.) до 122,89 (2020 г.) тыс. т. С увеличением доли значений индекса ТВИ, соответствующих тепловому стрессу, наблюдали некоторое снижение производства скота на убой в живом весе (рисунок 3).

Производство скота на убой в убойном весе в период с 2011 по 2022 г. имело положительную динамику ($y = -0,0653x^2 + 2,3294x + 47,723$, $R^2 = 0,9632$). Средняя величина и медиана за год при этом соответствовали 59,33 и 60,72 тыс. т, т. е. медиана оказалась выше среднего значения на 2,34 %. Межквартильный размах боксплота составил от 54,70 до 63,84 тыс. т с варьированием значений усов от 51,29 (2012 г.) до 65,69 (2020 г.) тыс. т. Наблюдали аналогичное снижение производства скота на убой в убойном весе по мере увеличения доли значений индекса ТВИ, соответствующих тепловому стрессу (рисунок 4).

В рамках выполняемого исследования нами также было изучено выращивание скота в расчете на 1 голову. Однако стоит оговориться, что имеются некоторые особенности статистического учета данного показателя в отдельные отрезки времени. В полном объеме на протяжении всего периода были представлены данные по сельскохозяйственным предприятиям. А вот сведения о величинах данного показателя в разрезе хозяйств населения (граждан), сельскохозяйственных организаций, не относящихся к субъектам малого предпринимательства, крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей в период с 2011 по 2015 г. в имеющихся формах отсутствовали, тогда как начиная с 2016 г. они были представлены, что существенно увеличило значения анализируемого показателя в разрезе хозяйств всех форм собственности. Было принято решение пойти по пути исключения наблюдений по списку. Изначально выполнили анализ в разрезе «длинного ряда» – сельскохозяйственных предприятий за период 2011–2022 гг. Было установлено значение $p < 0,001$, что указывало на наличие тренда к увеличению данного показателя с точки зрения данной категории хозяйств. Предположили, что «усеченные» ряды значений с 2016 по 2022 г. могут в полной мере отразить закономерные тенденции изменения изучаемого показателя по региону, исключая «длинные». Далее, применяя повторные измерения, рассмотрели в разрезе каждой из категории хозяйств значения в период с 2016 по 2022 г. с точки зрения величины непараметрического критерия Фридмана ($\chi^2_F = 9,96$), дополнительно установив значение $p < 0,05$, что указало на наличие статистически значимых различий между измерениями в каждой из категорий хозяйств и потребовало дополнительного проведения пост-хок тестов. Парные апостериорные сравнения с помощью критерия Коновера с поправкой Холма установили

достоверные ($p < 0,05$) взаимосвязи только между показателями в разрезе хозяйств населения (граждан), сельскохозяйственных организаций, не относящихся к субъектам малого предпринимательства, крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей. Это дало основания использовать значения только этих трех категорий хозяйств за период 2016–2022 гг., как критерии, отражающие значимые изменения выращивания скота в расчете на 1 голову по Республике Дагестан в целом за указанный период. Итак, наблюдался тренд к увеличению данного показателя ($y = 0,3968x^2 - 2,3651x + 94,714$, $R^2 = 0,3982$). Среднегодовое значение показателя в разрезе трех категорий хозяйств составило 93,19 кг, тогда как медиана была ниже на 2,35 % и составляла 91,00 кг. Границы нижнего и верхнего квартилей боксплота соответствовали 90,34 и 96,50 кг, тогда как максимальные значения и размах усов находились в диапазоне от 89,67 (2016 г.) до 98,00 кг (2022 г.). Показатели были сконцентрированы в районе верхней и нижней границы боксплота, с наибольшей плотностью – в нижней части диаграммы. Отметим, что по мере увеличения доли значений ТВИ, характерных для теплового стресса, изучаемый показатель выращивания скота в расчете на 1 голову возрастал (рисунок 5).

Производство молока за исследуемый период имело повышающийся тренд ($y = -2,1032x^2 + 52,457x + 612,78$, $R^2 = 0,9891$). Среднее значение показателя за год составило 839,83 тыс. т, в то время как медиана превзошла его на 2,46 %, до уровня 860,53 кг. Нижний и верхний квартили боксплота укладывались в диапазон 782,74–918,00 тыс. т, при размахе усов от 643,38 (2011 г.) до 940,08 (2022 г.) тыс. т. Производство молока имело тренд к снижению по мере того, как возрастала доля значений индекса ТВИ, свойственная тепловому стрессу (рисунок 6).



Рисунок 5

Выращено скота в расчете на 1 голову в зависимости от градаций ТВИ

Figure 5

Livestock production per livestock unit by THI category



Рисунок 6
Производство молока в зависимости от градаций ТВИ

Figure 6
Milk production by Temperature-Humidity Index (THI) categories

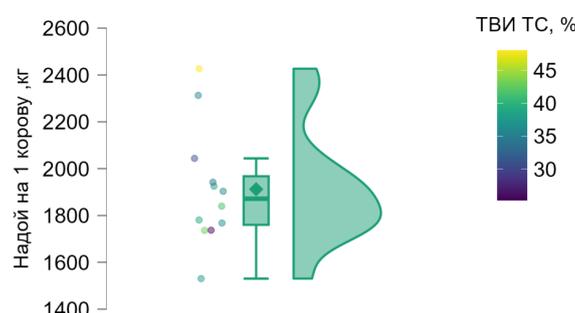


Рисунок 7
Надой молока на одну корову в зависимости от градаций ТВИ

Figure 7
Milk yield per cow depending on THI categories

Надой молока на 1 корову имел тенденцию к увеличению в период с 2011 по 2022 г. ($y = 4,4217x^2 + 6,6259x + 1629,5$, $R^2 = 0,8839$). Среднегодовое значение уровня молочной продуктивности составило 1912,10 кг, при более низком (на 2,12 %) значении медианы – 1871,50 кг. Границы нижнего и верхнего квартилей боксплота соответствовали 1760,06 и 1967,44 кг, тогда как размах усов составил от 1530,50 (2011 г.) до 2043,75 кг (2021 г.). Форма кривой плотности имела выраженный пик, расположенный ниже среднего значения и медианы. Имелись отдельные выбросы значений, расположенных выше верхнего уса. Надой молока на одну корову при этом (без учета выбросов) имел тенденцию к снижению при возрастании доли значений ТВИ, характерных для теплового стресса (рисунок 7).

Годовой расход кормов крупному рогатому скоту (без коров молочного стада, быков-производителей, рабочих волов) имеет нисходящий тренд ($y = -0,7543x^2 + 5,375x + 100,12$, $R^2 = 0,5579$) за период 2011–2022 г. Среднее значение показателя составило 94,20 тыс. т к. ед., тогда как медиана превосходила это значение на 7,86 %, достигая уровня 101,60 тыс. т к. ед. Нижний и верхний квартили охватывали диапазон значений от 73,90 до 113,33 тыс. т к. ед. с варьированием значений усов от 61,10 (2018 г.)

до 131,10 (2016 г.) тыс. т к. ед. Увеличение доли значений индекса ТВИ, свойственных тепловому стрессу, сопровождалось увеличением расхода кормов для крупного рогатого скота (без коров молочного стада, быков-производителей и рабочих волов) (рисунок 8).

Годовой расход кормов коровам молочного стада и быкам производителей также характеризовался отрицательной динамикой ($y = -8,3936x + 254,3$, $R^2 = 0,2692$), снижаясь в период с 2011 по 2022 г. Средняя величина изучаемого показателя составила 199,74 тыс. т к. ед. Медиана же оказалась ниже данного значения на 7,46 % – 184,85 тыс. т к. ед. Межквартильный размах составил от 157,40 до 255,82 тыс. т к. ед., значения варьировали от 121,50 (2020 г.) до 282,89 (2015 г.) тыс. т к. ед. Для коров молочного стада и быков-производителей расход кормов увеличивался по мере увеличения доли значений индекса ТВИ, характерных для теплового стресса (рисунок 9).

Рассматривая тепловую карту корреляций между изучаемыми показателями, отметим, что величина ТВИ имеет достоверную отрицательную средней силы (умеренную) взаимосвязь с показателями объемов производства крупного рогатого скота на убой в живом и убойном весе.

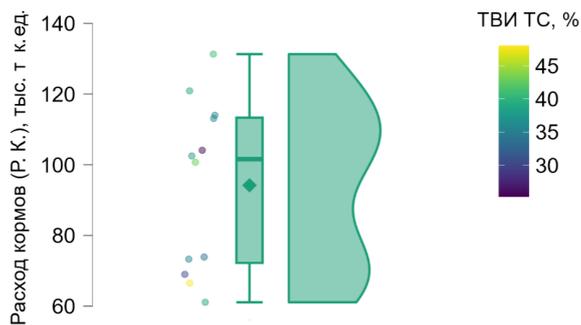


Рисунок 8

Расход кормов для крупного рогатого скота (без коров молочного стада, быков-производителей, рабочих волов) в зависимости от градаций ТВИ

Figure 8

Daily feed intake for cattle excluding dairy cows, breeding bulls, and draft oxen, grouped by THI categories

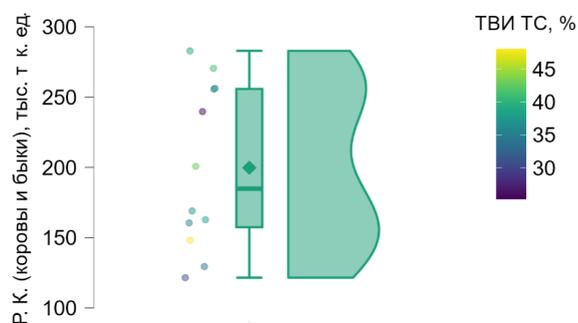


Рисунок 9

Расход кормов для коров молочного стада и быков-производителей в зависимости от градаций ТВИ

Figure 9

Feed intake for dairy cows and breeding bulls depending on THI categories

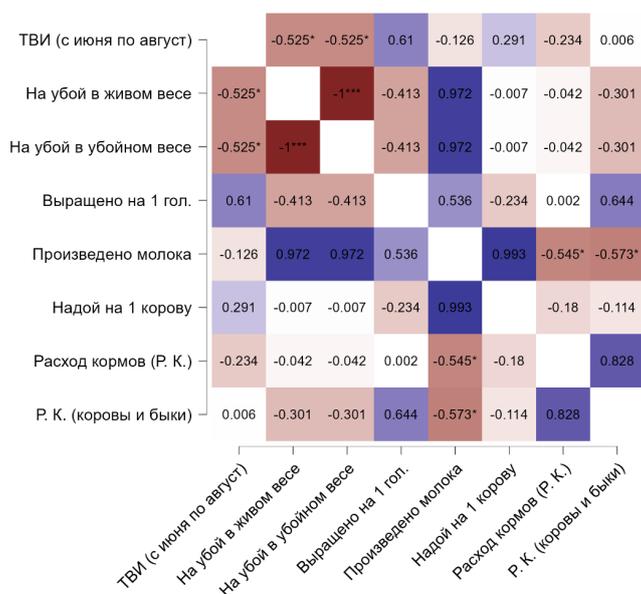


Рисунок 10

Карта корреляций между анализируемыми показателями

Figure 10

Correlation map of the analyzed parameters

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Климатические условия являются одними из основных и решающих факторов, ограничивающих развитие животноводства в регионах с теплым климатом. Тепловой стресс является следствием сочетания нескольких климатических факторов, таких как высокая температура окружающей среды, влажность, солнечная радиация и скорость ветра. Его влияние негативно не только в части ветеринарного благополучия животных, но и уровня их продуктивности. В зависимости от вида и породы крупный рогатый скот может испытывать тепловой стресс при температуре выше 20 °С. Тепловой стресс нарушает баланс свободных радикалов, что приводит к окислительному повреждению клеток и митохондрий. Он меняет характер использования ресурсов организма, в том числе жиров, белков, энергии. Тепловой стресс снижает скорость метаболизма так, что рост, продуктивность, репродуктивная функция и здоровье отходят на второй план и не являются для организма приоритетными факторами [33–35].

Сообщалось, что оценку тепловой нагрузки на организм крупного рогатого скота эффективно проводить на основании вычисления значений индекса, именуемого температурно-влажностным (ТВИ) [36]. Указанные подходы нами также были использованы.

Проблема теплового стресса имеет ярко выраженный региональный аспект и проявляется с различной интенсивностью в зависимости от географического расположения регионов и их природно-климатических особенностей [37]. Мы рассчитали значения вышеуказанного индекса, но применительно к Республике Дагестан и на основании климатических данных, полученных на метеостанциях, расположенных на территории данного субъекта Российской Федерации. Результаты показали наличие 38,67 % значений индекса ТВИ от общего числа рассчитанных, которые в той или иной степени соответствуют критерию «тепловой стресс» за летние месяцы исследуемого периода, причем большая доля из них соответствовала умеренному тепловому стрессу. Июль оказался месяцем с наибольшей долей значений ТВИ, соответствующих тепловому стрессу. В своей работе нами применен подход, когда рассчитывались значения ТВИ для нескольких синоптических сроков, а окончательный результат формулировался исходя из суммирования значений и выделения из общего количества доли каждого, соответствующего различной степени тяжести теплового стресса.

Причем различные авторы используют отличающиеся друг от друга пороговые значения индекса ТВИ. Например, могут применяться более широкие шкалы значений (нижний порог 68, а верхний – 84) и большее число градаций индекса в зависимости от степени тяжести теплового стресса по сравнению с используемой нами [38].

В отличие от дойных коров влияние теплового стресса на скот, разводимый с целью производства мяса, не всегда можно оценить сразу, поскольку его влияние не сиюминутно отражается на таких ежедневных показателях, как надои, и может быть в разной степени выраженным в зависимости от комплексного влияния нескольких факторов [39]. Нами установлено, что в Республике Дагестан наблюдается снижение производства скота на убой в живом и убойном весе по мере увеличения доли значений индекса ТВИ, соответствующих тепловому стрессу. Не исключено и накопительное влияние, обусловленное протяженным по времени воздействием стрессового фактора на организм животных. Вероятное влияние может быть обусловлено изменением в потреблении корма, направленным на снижение теплопродукции, а также менее продуктивным, на этом фоне, действию основных кормов, коих расходуется больше на производство единицы продукции [40]. Видится возможным и снижение генетического потенциала продуктивности скота, полученного от матерей, испытывающих тепловой стресс в период внутриутробного развития плода, что сказывается в дальнейшем на снижении у потомства величин среднесуточных приростов живой массы. Однако в основе этого – также снижение потребления корма. Хотя в целом полного согласия с данным утверждением в литературе нет [41]. Несмотря на это, в нашей работе также отмечалось, что у всех половозрастных групп крупного рогатого скота возрастает расход кормов по мере увеличения доли значений индекса ТВИ, характерных для теплового стресса. Это может быть следствием прохождения корма транзитом через отделы желудочно-кишечного тракта, направленным на снижение образования тепла в организме жвачных, тогда как большинство исследователей сообщают о снижении потребления корма, отмечая, что коровы, которые потребляют больше корма и менее продуктивны, более подвержены тепловому стрессу. В целом корректировки в кормлении могут смягчить некоторые негативные последствия для здоровья и продуктивности животных, но по сравнению с изменением окружающей среды манипуляции с рационом коров для адаптации к тепловому стрессу слабо влияют

на изменения продуктивности [42; 43]. Не исключаем и большую потерю веса скотом в период теплового стресса в момент транспортировки на убойный пункт, о чем сообщалось в работе В. Теке [44; 45].

Сообщалось, что у коров с повышенной температурой тела снижается потребление сухого вещества. По меньшей мере 40 % снижения молочной продуктивности может быть связано именно с этим. Но имеет место и прямое влияние на общий обмен веществ и термоустойчивость клеток. Имеются и более конкретные данные. В период теплового стресса у коров, находящихся в разгаре лактации, при каждом увеличении ТВИ на единицу потребление сухого вещества снижается на 4,13 %, а выход скорректированного по энергии молока – на 3,25 % [46; 47].

Вышеизложенное помогает понять динамику изменения молочной продуктивности и в какой-то мере дает объяснение наблюдаемому, в том числе и в нашем исследовании, снижению производства молока в целом и надоя молока в частности на фоне роста показателей ТВИ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом отметим, что установленная нами структура стресс-условий для молочного скота в разрезе лет имеет сезонную неоднородность, хотя неизменно включает как умеренные, так и тяжелые и крайне тяжелые эпизоды. Представленный в данной работе анализ тепловых индексов (ТВИ) отразил интенсивность воздействия стрессора на эффективность разведения крупного рогатого скота в Республике Дагестан и может быть полезен для выработки плана профилактических мероприятий по защите скота от теплового стресса в хозяйствах всех форм собственности и его реализации в наиболее критические месяцы лета – июль и август. Очевидно, что в ответ на тепловую нагрузку

Вклад авторов

Е. О. Крупин: концептуализация, методология, верификация данных, создание рукописи и ее редактирование, руководство исследованием.

А. А. Оздемиров: программное обеспечение, формальный анализ, проведение исследования, создание черновика рукописи, визуализация.

М. Г. Зухрабов: методология, верификация данных, создание рукописи и ее редактирование.

организм крупного рогатого скота включает адаптационные реакции, направленные на поддержание теплового баланса, изменяя поведенческие, усиливая конкуренцию за энергию между поддержанием гомеостаза и продуктивностью. Тепловой стресс может сопровождаться перестройкой регуляторных систем и иммуновоспалительного гомеостаза, включая усиление окислительного стресса и функциональные изменения иммунной реактивности. В прикладном смысле это может проявляться не только явными клиническими событиями, но и ростом доли субклинических потерь и повышенной чувствительности к неблагоприятным сочетаниям факторов внешней среды и технологий (содержания, кормления и эксплуатации), что побуждает проводить мониторинговые мероприятия по анализу климатических данных и вычисления ТВИ на протяжении всего летнего сезона.

Исследованиями подчеркнули наличие условий, характерных для теплового стресса у скота на территории Республики Дагестан, установленных величинами ТВИ в объеме 38,67 % от общего количества анализированных вычислений индекса. Апробированная на примере Республики Дагестан шкала градации индекса ТВИ, разработанная G. L. Hahn et al. (2009), в зависимости от степеней тяжести теплового стресса показала свою валидность и результативна при использовании на Северном Кавказе.

Наибольшая тепловая нагрузка на скот отмечается в июле. С увеличением доли значений индекса ТВИ, соответствующих тепловому стрессу, наблюдали определенное снижение производства скота на убой в живом и убойном весе, производства молока, надоя молока на одну корову, увеличение расхода кормов для всех половозрастных групп крупного рогатого скота. Величина ТВИ имеет достоверную отрицательную средней силы (умеренную) взаимосвязь с показателями объемов производства крупного рогатого скота на убой в живом и убойном весе.

Contributions

E. O. Krupin: conceptualization, methodology, validation, writing-review & editing, project administration.

A. A. Ozdemirov: software, formal analysis, investigation, writing-original draft, visualization.

M. G. Zukhrabov: methodology, validation, writing-review & editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Islam M.A., Lomax S., Doughty A. et al. Automated monitoring of cattle heat stress and its mitigation. *Frontiers in Animal Science*. 2021;2:737213. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.737213>
2. Osei-Amponsah R., Dunshea F.R., Leury B.J. et al. Heat stress impacts on lactating cows grazing Australian summer pastures on an automatic robotic dairy. *Animals*. 2020;10(5):869. <https://doi.org/10.3390/ani10050869>
3. Idris M., Uddin J., Sullivan M. et al. Non-invasive physiological indicators of heat stress in cattle. *Animals*. 2021;11(1):71. <https://doi.org/10.3390/ani11010071>
4. Белоусов А.И., Шкуратова И.А., Красноперов А.С. и др. Влияние теплового стресса на коров в сухостойный и послеродовой период. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2022;(3):93-101. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-64-3-93-101>
Belousov A.I., Shkuratova I.A., Krasnoperov A.S. et al. Influence of heat stress on cows during the dry and postpartum period. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2022;(3):93-101. (In Russ.) <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-64-3-93-101>
5. Blond B., Majkić M., Spasojević J. et al. Influence of heat stress on body surface temperature and blood metabolic, endocrine, and inflammatory parameters and their correlation in cows. *Metabolites*. 2024;14(2):104. <https://doi.org/10.3390/metabo14020104>
6. Кузьминова Е.В., Рудь Е.Н., Семенов М.П., Абрамов А.А. Состояние биохимического профиля крови и уровня эндогенной интоксикации у коров с гепатопатиями в условиях теплового стресса. *Ветеринария сегодня*. 2022;11(2):135-141. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-2-135-141>
Kuzminova E.V., Rud E.N., Semenenko M.P., Abramov A.A. Biochemical blood parameters and level of endogenous intoxication in cows suffering from hepatopathies under heat stress. *Veterinary Science Today*. 2022;11(2):135-141. (In Russ.) <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-2-135-141>
7. Shu H., Wang W., Guo L., Bindelle J. Recent advances on early detection of heat strain in dairy cows using animal-based indicators: A review. *Animals*. 2021;11(4):980. <https://doi.org/10.3390/ani11040980>
8. Peng D., Chen S., Li G. et al. Infrared thermography measured body surface temperature and its relationship with rectal temperature in dairy cows under different temperature-humidity indexes. *International Journal of Biometeorology*. 2019;63(3):327-336. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-01666-x>
9. Chang-Fung-Martel J., Harrison M.T., Brown J.N. et al. Negative relationship between dry matter intake and the temperature-humidity index with increasing heat stress in cattle: a global meta-analysis. *International Journal of Biometeorology*. 2021;65(12):2099-2109. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02167-0>
10. Муханина Е.Н., Шакиров Ш.К., Сафина Н.Ю., Гайнутдинова Э.Р. Изучение негативного влияния теплового стресса на показатели молочной продуктивности коров при различных способах содержания. *Международный вестник ветеринарии*. 2024;(4):509-517. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2024.4.509>
Mukhanina E.N., Shakirov Sh.K., Safina N.Yu., Gainutdinova E.R. Study of the negative effect of heat stress on dairy productivity of cows under different housing methods. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2024;(4):509-517. (In Russ.) <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2024.4.509>
11. Bovo M., Agrusti M., Benni S. et al. Random forest modelling of milk yield of dairy cows under heat stress conditions. *Animals*. 2021;11(5):1305. <https://doi.org/10.3390/ani11051305>
12. Bokharaeian M., Toghdory A., Ghoorchi T. et al. Quantitative associations between season, month, and temperature-humidity index with milk yield, composition, somatic cell counts, and microbial load: A comprehensive study across ten dairy farms over an annual cycle. *Animals*. 2023;13(20):3205. <https://doi.org/10.3390/ani13203205>
13. Toghdory A., Ghoorchi T., Asadi M. et al. Effects of environmental temperature and humidity on milk composition, microbial load, and somatic cells in milk of Holstein dairy cows in the northeast regions of Iran. *Animals*. 2022;12(18):2484. <https://doi.org/10.3390/ani12182484>

14. Yan G., Li H., Shi Z. Evaluation of Thermal Indices as the Indicators of Heat Stress in Dairy Cows in a Temperate Climate. *Animals*. 2021;11(8):2459. <https://doi.org/10.3390/ani11082459>
15. Liu J., Li L., Chen X. et al. Effects of heat stress on body temperature, milk production, and reproduction in dairy cows: A novel idea for monitoring and evaluation of heat stress – A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2019;32(9):1332. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0743>
16. Dimov D., Penev T., Marinov I. Thermal microclimate assessment in dairy cow milking parlors: Seasonal variations in temperature-humidity index and implications for heat stress. *Veterinary World*. 2025;18(7):2024. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.2024-2030>
17. Arias R.A., Mader T.L. Evaluation of four thermal comfort indices and their relationship with physiological variables in feedlot cattle. *Animals*. 2023;13(7):1169. <https://doi.org/10.3390/ani13071169>
18. Вторый В.Ф., Вторый С.В. Информационная модель влияния теплового стресса на молочную продуктивность коров. *Аграрный научный журнал*. 2022;(2):69-72. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp69-72>
Vtoryi V.F., Vtoryi S.V. Information model of heat stress effect on lactation performance of cows. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2022;(2):69-72. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp69-72>
19. Jeelani R., Konwar D., Khan A. et al. Reassessment of temperature-humidity index for measuring heat stress in crossbred dairy cattle of a sub-tropical region. *Journal of Thermal Biology*. 2019;82:99-106. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.03.017>
20. Dimov D., Penev T., Marinov I. Temperature-humidity index—an indicator for prediction of heat stress in dairy cows. *Veterinarija ir Zootechnika*. 2020;78(100):10-15.
21. Valdivia-Cruz J.C., Reyes-González J.J., Valdés-Paneque G.R. Effect of temperature and humidity index (THI) on the physiological responses of grazing dairy cows. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2021;55(1):21-29.
22. Kibar M., Aytekin İ., Özkan İ.A. Fuzzy logic model for determining optimal Temperature-Humidity index values in dairy farms in temperate climate. *Journal of Applied Animal Welfare Science*. 2025;28(1):61-73. <https://doi.org/10.1080/10888705.2024.2400137>
23. Yan G., Shi Z., Li H. Critical temperature-humidity index thresholds based on surface temperature for lactating dairy cows in a temperate climate. *Agriculture*. 2021;11(10):970. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100970>
24. Mullakkalparambil Velayudhan S., Brügemann K., Pinto A. et al. Effects of heat stress across the rural-urban interface on phenotypic trait expressions of dairy cattle in a tropical savanna region. *Sustainability*. 2022;14(8):4590. <https://doi.org/10.3390/su14084590>
25. Chamberlain A.T., Powell C.D., Arcier E., Aldenhoven N. The relationship between on-farm environmental conditions inside and outside cow sheds during the summer in England: can Temperature Humidity Index be predicted from outside conditions? *Animal – Open Space*. 2022;1(1):100019. <https://doi.org/10.1016/j.anopes.2022.100019>
26. Ouellet V., Bellavance A.L., Fournel S., Charbonneau É. Summer on-farm environmental condition assessments in Québec tiestall farms and adaptation of temperature-humidity index calculated with local meteorological data. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(8):7503-7508. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16159>
27. Kulaz E., Ser G. A meta-analysis of heat stress in dairy cattle: The increase in temperature humidity index affects both milk yield and some physiological parameters. *Czech Journal of Animal Science*. 2022;67(6). <https://doi.org/10.17221/1/2022-CJAS>
28. Ouellet V., Toledo I.M., Dado-Senn B. et al. Critical temperature-humidity index thresholds for dry cows in a subtropical climate. *Frontiers in Animal Science*. 2021;2:706636. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.706636>
29. Ratni E., Islam D., Rachman K.I. Temporal and Spatial Variations of Temperature-Humidity Index Related to Heat Stress in High-Altitude Dairy Cattle Farms. *Andalasian Livestock*. 2025;2(1):98-106. <https://doi.org/10.25077/alive.v2.n1.p98-106.2025>
30. Giro A., Pezzopane J.R.M., Junior W.B. et al. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. *Science of the Total Environment*. 2019;684:587-596. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.377>

31. Dado-Senn B., Ouellet V., Lantigua V. et al. Methods for detecting heat stress in hutch-housed dairy calves in a continental climate. *Journal of Dairy Science*. 2023;106(2):1039-1050. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22237>
32. Крупин Е.О. Оценка теплового стресса на основе анализа параметров внешней среды и микроклимата животноводческих помещений. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021;(3):68-71. <https://doi.org/10.31857/S2500262721030133>
Krupin E.O. Heat stress evaluation based on the analysis of external environment parameters and microclimate of livestock buildings. *Russian Agricultural Science*. 2021;(3):68-71. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2500262721030133>
33. Renaudeau D., Collin A., Yahav S. et al. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*. 2012;6(5):707-728. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>
34. Herbut P., Angrecka S., Godyń D., Hoffmann G. The physiological and productivity effects of heat stress in cattle—a review. *Annals of Animal Science*. 2019;19(3):579-593. <https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0011>
35. Belhadj Slimen I., Najar T., Ghram A., Abdrabba M. Heat stress effects on livestock: molecular, cellular and metabolic aspects, a review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2016;100(3):401-412. <https://doi.org/10.1111/jpn.12379>
36. Ekine-Dzivenu C.C., Mrode R., Oyieng E. et al. Evaluating the impact of heat stress as measured by temperature-humidity index (THI) on test-day milk yield of small holder dairy cattle in a sub-Saharan African climate. *Livestock Science*. 2020;242:104314. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104314>
37. Крупин Е.О. Тепловой стресс у молочного скота в Приволжском федеральном округе Российской Федерации: миф или реальность (ретроспективный анализ с 1970 по 2024 г.). *Аграрная наука*. 2025;(12):59-67. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-59-67>
Krupin E.O. Heat stress in dairy cattle in the Volga Federal District of the Russian Federation: myth or reality (a retrospective analysis from 1970 to 2024). *Agrarian science*. 2025;(12):59-67. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-59-67>
38. Leliveld L.M.C., Lovarelli D., Riva E., Provolo G. Dairy cow behaviour and physical activity as indicators of heat stress. *Italian Journal of Animal Science*. 2025;24(1):772-783. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2025.2471545>
39. Summer A., Lora I., Formaggioni P., Gottardo F. Impact of heat stress on milk and meat production. *Animal Frontiers*. 2019;9(1):39-46. <https://doi.org/10.1093/af/vfy026>
40. Mitlöchner F.M., Galyean M.L., McGlone J.J. Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behavior of heat-stressed feedlot heifers. *Journal of Animal Science*. 2002;80(8):2043-50. <https://doi.org/10.2527/2002.8082043x>
41. Tao S., Dahl G.E. Invited review: Heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves. *Journal of Dairy Science*. 2013;96(7):4079-4093. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6278>
42. Nascimento B.M., Parker Gaddis K.L., Koltes J.E. et al. Impact of heat stress on dry matter intake and residual feed intake in mid-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2025;108(7):7345-7353. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26574>
43. Глазков А.В., Валошин А.В. Стратегии кормления дойных коров красно-пестрой породы в условиях теплового стресса. *Промышленность и сельское хозяйство*. 2020;(12):9-12.
Glazkov A.V., Valoshin A.V. Feeding strategies for red-and-white cows under heat stress. *Industry and Agriculture*. 2020;(12):9-12. (In Russ.)
44. Teke B. Shrink and mortality of beef cattle during long distance transportation. *Animal Welfare*. 2013;22(3):379-384. <https://doi.org/10.7120/09627286.22.3.379>
45. Correa-Calderón A., Avendaño-Reyes L., López-Baca M., Macías-Cruz U. Heat stress in dairy cattle with emphasis on milk production and feed and water intake habits. Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2022;13(2):488-509. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5832>
46. West J.W. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2003;86(6):2131-2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)
47. Chen L., Thorup V.M., Kudahil A.B., Ostergaard 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. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24059>

Сведения об авторах

Крупин Евгений Олегович –

доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник отдела физиологии, биохимии, генетики и питания животных, Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-8086-1788>

SPIN-код: 5341-0386

evgeny.krupin@gmail.com

Оздемиров Алимсолтан Ахмедович –

кандидат биологических наук, заведующий лабораторией геномных исследований, селекции и племенного дела, Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>

SPIN-код: 4308-1664

alim72@mail.ru

Зухрабов Мирзабек Гашимович –

доктор ветеринарных наук, профессор, заведующий кафедрой терапии и клинической диагностики, Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова, Махачкала, Россия

SPIN-код: 1355-0461

terapia.daggau@mail.ru

About the authors

Evgeny O. Krupin –

Dr. Sci. (Vet.), Senior Researcher, Department of Animal Physiology, Biochemistry, Genetics and Nutrition, Tatar Scientific Research Institute of Agriculture – Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science «Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Science», Kazan, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-8086-1788>

evgeny.krupin@gmail.com

Alimsoltan A. Ozdemirov –

Cand. Sci. (Biol.), Head of Laboratory of Genomic Research, Selection and Breeding, Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>

alim72@mail.ru

Mirzabek G. Zukhrabov –

Dr. Sci. (Vet.), Prof., Head of the Department of Therapy and Clinical Diagnostics, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, Makhachkala, Russia

terapia.daggau@mail.ru