

# ТЕРМОРЕГУЛЯТОРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ БИКАРБОНАТА НАТРИЯ В УСЛОВИЯХ ТЕПЛОВОГО СТРЕССА У ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

**Дмитрий Андреевич Благов**, канд. биол. наук, старший научный сотрудникE-mail: [aspirantyra2013@gmail.com](mailto:aspirantyra2013@gmail.com)**Игорь Мамедяревич Довлатов**, канд. техн. наук, старший научный сотрудникE-mail: [dovlatovim@mail.ru](mailto:dovlatovim@mail.ru)**Илья Владимирович Комков**, аспирант, младший научный сотрудникE-mail: [ilyakomkov10@yandex.ru](mailto:ilyakomkov10@yandex.ru)

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва

Тепловой стресс, возникающий при температур выше +25 °С (температурно-влажностный индекс  $\geq 77$ ), снижает продуктивность и ухудшает физиологическое состояние крупного рогатого скота. Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки методов минимизации последствий теплового стресса в условиях умеренного климата. Использование бикарбоната натрия как буферной добавки направлено на стабилизацию метаболизма и повышение устойчивости животных к стрессовым факторам. Эксперимент проведен на 30 лактирующих коровах голштинской породы в условиях моделируемого теплового стресса (+30 °С, влажность 65–70 %). Бикарбонат натрия вводился в дозировках 150 г и 200 г с утренним кормом. Контроль параметров микроклимата осуществлялся датчиками Noho U12-012. Оценивались молочная продуктивность, качество молока (жир, белок, соматические клетки) и гематологические показатели (лейкоциты, глюкоза, гемоглобин). Данные обработаны методами вариационной статистики. Добавление 200 г бикарбоната натрия снизило падение суточного удоя до 9,1 % (против 13,5 % в контроле) и минимизировало изменения в содержании молочного жира (на 0,20 %) и белка (на 0,17 %). Уровень соматических клеток увеличился всего на 15 % (контроль – 30,56 %). Гематологический анализ показал стабилизацию лейкоцитов (снижение на 0,93 %) и умеренный рост глюкозы (на 2,5 %), что предложено использовать как биомаркер стресса. Полученные данные согласуются с исследованиями в тропических регионах, но подчеркивают необходимость адаптации дозровок под кратковременные тепловые нагрузки умеренного климата. Бикарбонат натрия в дозировке 200 г/сутки эффективно снижает негативное влияние теплового стресса на продуктивность и физиологическое состояние коров. Разработанная функционально-структурная схема реакции организма позволяет интегрировать показатели температурно-влажностного индекса и гематологические данные в цифровые системы управления микроклиматом, обеспечивая персонализированный подход к кормлению и содержанию животных. Полученные результаты способствуют внедрению технологий оптимизации рационов в условиях сезонных климатических колебаний.

**Ключевые слова:** бикарбонат натрия, молочная продуктивность, гематологическая динамика, тепловой стресс, температурно-влажностный индекс (ТНІ), цифровой мониторинг микроклимата, сезонные тепловые нагрузки, эффективность кормовых добавок

**Для цитирования:** Благов, Д. А. Терморегуляторный потенциал бикарбоната натрия в условиях теплового стресса у лактирующих коров / Д. А. Благов, И. М. Довлатов, И. В. Комков // Молочная промышленность. 2025. № 5. С. 60–67. <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-5-57>

## ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение оптимального микроклимата в животноводческих помещениях критически важно для здоровья и продуктивности животных, повышения экономических показателей, а также эффективности работы персонала и технологического оборудования (доильные системы, удаление навоза). Основным фактором, влияющим на крупный рогатый скот, является температура: средние значения (–15...+25 °С) переносятся хорошо, тогда как превышение +25 °С вызывает тепловой стресс. Современные исследования акцентируют внимание на необходимости внедрения цифровых и автоматизированных систем для контроля параметров микроклимата [1, 2].

Из-за ухудшения ряда показателей микроклимата у коров наблюдается синдром «дырявого кишечника», который характеризуется нарушением барьерной функции кишечного эпителия, обуславливающим проникновение микроорганизмов, токсинов, некоторых белков в кровеносную и лимфатическую систему, что негативно сказывается на здоровье и продуктивности животных [3].

Изучение микроклимата, особенно теплового стресса, актуально для российских и зарубежных ученых. R. Mylostyyvi и O. Chernenko показали, что высокие температуры приводят к значительным потерям поголовья крупного рогатого скота (КРС). Жара, влажность, ветер и инсоляция влияют на терморегуляцию животных.

Температурно-влажностный индекс (ТНІ) учитывает эти факторы для оценки воздействия среды на здоровье и продуктивность скота, где молочная продуктивность служит индикатором комфорта в жарких условиях [4].

Исследования Р. Кіс [5] по влиянию внешних температурных условий на параметры температуры и влажности воздуха в помещении на чешской молочной ферме летом показали, что для комфортного состояния дойных коров рекомендуется поддерживать следующие показатели окружающей среды: температуру 5–20 °С и влажность 40–80 %. Умеренный тепловой стресс снижает потребление корма и удои коров. Высокая температура воздуха, выше рекомендуемых значений, приводит к серьезным проблемам, особенно для высокопродуктивных молочных коров. ТНІ < 70 поддерживает оптимальную производительность, а ТНІ ≥ 77 вызывает тяжелый тепловой стресс. Увеличение ТНІ снижает производство молока и потребление корма.

D. V. Armstrong [6] и L. Polsky [7] изучали вопрос по влиянию температуры воздуха и уровня относительной влажности, которые вызывали тепловой стресс с помощью температурно-влажностного индекса (ТНІ). При значениях ТНІ 68 и 72 у коров отмечалось начало теплового стресса, что приводило к увеличению температуры тела, изменению этиологии у животных.

Более ранние исследования коллектива авторов опубликованы в 2024 г. и посвящены влиянию теплового стресса, определению температурно-влажностного индекса. Они показали, что высокие значения температуры окружающей среды и уровень относительной влажности воздуха отрицательно влияют на молочную продуктивность скота, снижая ее на 40 %. Результатом данного исследования была модернизация наиболее распространенной формулы определения температурно-влажностного индекса [8, 9].

В литературных источниках встречаются данные по индексу ТНІ, которые имеют разногласия между собой. По данным К. Brügemann et al. [10], снижение суточного удоя отмечается при ТНІ > 60, а исследования R. B. Zimbelman et al. [11] показали, что продуктивность снижается при ТНІ 68. Помимо снижения суточного удоя отмечалось уменьшение количества молочного жира и белка, а также увеличение в молоке соматических клеток. Региональные исследования J. Heinicke et al. [12] показали, что порог тепловой нагрузки, определенный с помощью кусочных моделей, составляет ТНІ 67 для лактирующих коров в умеренном климате Германии.



Источник изображения: freepik.com

Несмотря на обширные исследования влияния буферных добавок на терморегуляцию КРС в тропических регионах, вопросы их дозирования в условиях умеренного климата остаются малоизученными. Работы, посвященные коррекции теплового стресса, часто фокусируются на экстремальных температурных режимах, игнорируя специфику регионов с сезонными пиками жары. Настоящее исследование впервые предлагает экспериментально обоснованные дозировки бикарбоната натрия (150–200 г/сутки) для лактирующих коров в условиях умеренно-континентального климата, где кратковременные тепловые нагрузки (ТНІ 72–77) становятся критическим фактором снижения продуктивности. Это дополняет существующие методики, ориентированные на тропические зоны, и расширяет инструментарий для профилактики метаболического ацидоза [13].

D. Lovarelli et al. выявили, что для молочного скотоводства нормальные температурные условия составляют от –5 до +25 °С, влажность от 45 до 90 %, со значением ТНІ < 72. Если же уровень ТНІ > 72, то это снижает продуктивность коров на 10–35 %, при температуре 24 °С или влажности 70–75 % [14].

L. M. C. Leliveld et al. установили, что время года и ТНІ имеют определенное влияние на суточные модели поведения коров. Кроме этого, важную роль в определении поведения сельскохозяйственных животных играют фотопериод и эндогенные циркадные ритмы [15].

Из работы R. J. Collier & Kifle G. [16] следует, что тепловой стресс также влияет на репродуктивную систему, понижая интенсивность охоты и развитие яйцеклеток. При сильном стрессе у коров происходит увеличение выработки кортизола, что уменьшает синтез молочного белка.

Кроме воздействия положительных температур на физиологическое состояние и продуктивность крупного рогатого скота, существуют исследования, которые направлены на изучение низких температур и их влияния на животных. Так, в исследовании И. М. Беседина и др. [17] отмечается изменение в работе иммунной системы, а также двигательной активности. При воздействии холода наблюдается активность макрофагов, которые активируют клеточный иммунитет. Авторы отмечают, что тепло оказывает влияние на организм сильнее, чем холод.

Опыт, проведенный Б. П. Моховым на 24 животных разного возраста и продуктивности, показал, что имелись различия в расходе обменной энергии, продуктивности, живой массе и суточной продолжительности жвачных действий. Живая масса у высокопродуктивных коров на 15 % выше, длительность жвачки выше на 11 % по сравнению с животными, у которых была низкая продуктивность. Кроме этого, на 1 кг молока у высокопродуктивных коров затрачивалось 9,39 МДж, а у низкопродуктивных – 12,80 МДж [18].

Таким образом, рассматривая различные литературные данные по влиянию теплового стресса на организм крупного рогатого скота и его продуктивность, можно сделать вывод, что данная тема является актуальной проблемой, невзирая на региональные и климатические различия. Кроме этого, встает вопрос как снизить влияние теплового стресса на ферме, а также нивелировать его последствия для здоровья животных и их продуктивности. Одним из доступных и дешевых источников буферных добавок является сода, нормы ввода которой колеблются от 100 до 200 г в сутки, а в некоторых случаях и до 300 г. Скармливать соду можно разными способами: в составе комбикорма, добавлять в кормомиксер при вводе кормовых добавок, добавлять в кормушки животным. В данной работе были представлены исследования по введению буферной добавки в различной дозировке с целью установления наилучшей концентрации ее в рационе, а также ее влияния на молочную продуктивность, качество получаемого молока и ряд гематологических показателей.

**Цель исследования** – уменьшение негативных реакций организма лактирующих коров от влияния теплового стресса при помощи буферной кормовой добавки.

Задачи исследования:

- анализ негативного влияния теплового стресса на молочную продуктивность КРС;
- определение последовательности реакций организма КРС на воздействие теплового стресса;
- выявление терморегуляторного потенциала бикарбоната натрия на основе анализа молочной и гематологической динамики КРС.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Аналитическая информация для написания работы формировалась из открытых источников данных eLIBRARY.RU, MDPI, Google Scholar. В результате поиска были отобраны литературные источники, опубликованные в основном за последние 6 лет. Проведение хозяйственного эксперимента проводилось в 2023 г. на базе ФГБУ «Опытная Станция «Григорьевское», расположенного в Ярославской области. Эксперимент проведен на лактирующих коровах голштинской породы (n = 30), содержащихся в типовом коровнике привязного содержания с естественной вентиляцией и температурным режимом от +15 до +25 °С. Животные распределены в группы по принципу пар-аналогов с учетом живой массы ( $650 \pm 15$  кг), стадии лактации ( $120 \pm 10$  суток) и исходного удоя ( $12 \pm 0,8$  кг/сутки). Буферная добавка (бикарбонат натрия) вводилась перорально с утренним кормлением в дозировках 150 г (группа 1) и 200 г (группа 2). Тепловой стресс моделировался в течение 48 ч при поддержании  $T_{HI} \geq 77$ . Контроль параметров микроклимата осуществлялся с использованием датчиков Nobo U12-012, а сбор данных – в режиме реального времени.

Для проведения опыта было сформировано 3 группы по 10 голов – контрольная группа, группа 1 и группа 2. Группы 1 и 2 получали буферную добавку различной дозировки. Учет молочной продуктивности устанавливали при помощи проведения контрольного доения. Взятие молока осуществлялось до наступления теплового стресса 13 июля (+15 °С) и на 2 сутки после наступления теплового стресса (тепловой стресс 7, 8 августа при температуре +29, +30 °С соответственно) 9 августа соответственно.

Полученное молоко от всех животных собиралось в пластиковые контейнеры без консерванта и анализировалось на приборах: Лактан 1-4М Профи,

СОМАТОКС мини, где определялись содержание жира, белка и количество соматических клеток. Контроль за физиологическим состоянием опытных коров осуществлялся отбором проб крови на морфологические и биохимические исследования до кормления из хвостовой вены в вакуумные пробирки с соответствующими нанесенными в них производителями реактивами. Анализ крови на форменные элементы и ряд биохимических показателей в лаборатории ФГБНУ ФНАЦ ВИМ на оборудовании: iMagic-S7 автоматический биохимический анализатор, URIT Medical Smart 5 Vet гематологический анализатор. Хозяйственный рацион был рассчитан в программе «ВИМ\_АСТРА+» по детализированным нормам А. П. Калашникова. Полученные числовые экспериментальные данные были обработаны методом вариационной статистики по Н. А. Плохинскому с применением компьютерной программы Microsoft Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основным исследуемым фактором являлось воздействие температурного стресса (+30 °С), моделирующего экстремальные условия. Несбалансированность рациона (избыток сочных кормов) усилила негативные эффекты, однако ключевым триггером снижения продуктивности выступал именно тепловой стресс, что подтверждается динамикой гематологических параметров (лейкопения, гипергликемия).

Как отмечено выше, хозяйственный рацион составлен с применением программы и включал в себя следующий набор кормов: сочные, концентрированные, кормовые добавки (табл. 1).

Таблица 1. Хозяйственный рацион

Вид корма	Контрольная группа	Опытные группы	
		Группа 1	Группа 2
Трава злаково-разнотравного пастбища, кг	31,0	31,0	31,0
Ячмень, кг	1,0	1,0	1,0
Овес, кг	1,4	1,4	1,4
Шрот рапсовый, кг	0,6	0,6	0,6
Соль поваренная, г	85	85	85
Трикальцийфосфат, г	130	130	130
Тривитамин, мл	0,55	0,55	0,55
Сода, г	–	150	200
<b>Структура рациона</b>			
Сочные корма, %	75,31		
Концентрированные корма, %	24,69		

Как видно из данных таблицы 1, хозяйственный рацион по основным кормам одинаков для всех трех групп. Кормовая масса без учета добавок составляла 34 кг. По структуре рацион состоял из 75,31 % сочных кормов и 24,69 % концентрированных. Для рациона опытных групп дополнительно была введена сода в количестве 150 и 200 г в качестве фактора для снижения теплового стресса. Кроме самого рациона, рассчитана его питательность (табл. 2).

С точки зрения зоотехнического анализа рацион имел следующие показатели питательности: соотношение кальция к фосфору составляло 1,2:1,0; сахара к протеину 0,6:1,0; содержание сырого протеина в сухом веществе 14,6 %, сырой клетчатки 24,8 %, сырого жира 3,6 %, крахмала 9,1 %, сахара 5,8 %; количество микробного

Таблица 2. Питательность рациона

Показатели питательности	Всего	Норма	Отклонение от нормы	Отклонение от нормы, %
Чистая энергия лактации, МДж	74,5	80,8	–6,3	–8
Энергетическая кормовая единица	12,76	12,6	0,16	1
Обменная энергия, МДж	127,6	126,0	1,6	1
Сухое вещество, г	13 594	14 100	–506	–3,6
Сырой протеин, г	1989	1610	379	24
Расщепляемый протеин, г	1663,2	1138,0	525,2	46
Переваримый протеин, г	1342,4	1060,0	282,4	27
Метионин, г	61,7	50,0	11,7	23
Сахар, г	788,2	880,0	–91,8	–10
Крахмал, г	1241,3	1435,0	–193,7	–13
Сырой жир, г	487,2	340,0	147,2	43
Сырая клетчатка, г	3367,6	3850,0	–482,4	–13
Соль поваренная, г	74	73	1	1
Кальций, г	130,2	73,0	57,2	78
Фосфор, г	110,3	51,0	59,3	116
Калий, г	148,5	82,0	66,5	81
Железо, мг	1461,9	850,0	611,9	72
Каротин, мг	1086,8	475,0	611,8	129
Витамин D <sub>3</sub> , МЕ	11 000	10 600	400	4
Витамин Е, мг	133,4	425,0	–291,6	–69

протеина 1389,74 г, усвоенного протеина 1714,94; баланс азота в рубце 43,85 г. Таким образом, разработанный хозяйственный рацион удовлетворял физиологические потребности лактирующих коров.

Проведенный литературный анализ данных и производственные испытания позволили разработать функционально-структурную схему реакции организма на воздействие теплового стресса, которая показана на рисунке 1.

Исходя из разработанной схемы реакции организма на воздействие теплового стресса было установлено, что воздействие данного фактора можно установить визуально.



Рисунок 1. Функционально-структурная схема реакции организма на воздействие теплового стресса

Проявление теплового стресса будет сопровождаться следующими изменениями: учащение сердцебиения, дыхания, снижение потребления корма, изменение этологических показателей, нарушение воспроизводительных функций, снижение молочной продуктивности и качества молока, что особенно остро влияет на экономические показатели хозяйства.

На рисунке 2 представлена динамика молочной продуктивности крупного рогатого скота до наступления теплового стресса.

Как видно из рисунка 2, молочная продуктивность у коров до начала воздействия теплового стресса находилась на одинаковом уровне. Однако после перенесенного теплового стресса продуктивность коров и качество получаемого молока снизились. Группы 1 и 2 потребляли буферную добавку в различной дозировке, у них отмечено меньшее снижение исследуемых показателей, чем в контрольной группе (табл. 3).



Рисунок 2. Суточный удой до начала теплового стресса

Таблица 3. Показатели молочной продуктивности и качества молока, n = 10

Показатели питательности	Контрольная группа		Опытные группы			
			Группа 1		Группа 2	
	M ± m	δ	M ± m	δ	M ± m	δ
<b>До начала теплового стресса</b>						
Суточный удой, кг	12,0 ± 0,76	2,42	12,13 ± 0,83	2,62	12,11 ± 0,73	2,31
Массовая доля жира, %	3,70 ± 0,04	0,14	3,69 ± 0,08	0,25	3,69 ± 0,05	0,17
Массовая доля белка, %	3,39 ± 0,01	0,05	3,37 ± 0,04	0,14	3,38 ± 0,03	0,10
Количество соматических клеток, тыс/см <sup>3</sup>	248,10 ± 7,61	24,07	249,30 ± 8,09	25,59	249,40 ± 9,45	29,88
<b>После воздействия теплового стресса</b>						
Суточный удой, кг	10,38 ± 0,66	2,09	10,86 ± 0,74	2,35	11,01 ± 0,66	2,10
Массовая доля жира, %	3,42 ± 0,04	0,13	3,45 ± 0,07	0,23	3,48 ± 0,05	0,16
Массовая доля белка, %	3,18 ± 0,01	0,04	3,20 ± 0,04	0,13	3,21 ± 0,03	0,09
Количество соматических клеток, тыс/см <sup>3</sup>	315,09 ± 9,67	30,56	296,67 ± 9,63*	30,45	286,81 ± 10,87**	34,36

Примечание: \*P ≥ 0,90; \*\*P ≥ 0,95; M ± m – среднее значение ± стандартное отклонение; δ – стандартная ошибка среднего.



Анализируя данные по молочной продуктивности и качеству получаемого молока, представленные в таблице 3, можно сделать следующие выводы. До наступления теплового стресса у коров контрольной группы суточный удой составлял 12,0 кг, а после воздействия данного фактора продуктивность снизилась на 13,5 %. В группе 1 до воздействия теплового стресса удой составлял 12,13 кг, а после снизился на 10,5 %. Снижение удоя на 9,1 % в группе 2 демонстрирует эффективность дозировки 200 г бикарбоната натрия, что сопоставимо с результатами исследований в тропических условиях [3], где аналогичные дозы снижали потери продуктивности на 7–12 %.

Однако в отличие от тропических регионов, где тепловой стресс носит хронический характер, в умеренном климате кратковременные пики температурно-влажностного индекса (ТНІ) требуют точечной коррекции рациона. Это подтверждается динамикой гематологических показателей: умеренное повышение глюкозы (на 2,5 %) и стабилизация уровня лейкоцитов (падение всего на 0,93 %) свидетельствуют о быстрой адаптации метаболизма, что делает предложенный метод экономически целесообразным для хозяйств с сезонными рисками.

Помимо уменьшения количества молока от перенесенного теплового стресса снизилось и его качество. Содержание молочного жира и белка во всех группах снижалось. В контрольной группе количество молочного жира и белка уменьшилось на 0,28 и 0,20 % соответственно; в группе 1 данные показатели снизились на 0,24 и 0,17 % соответственно; в группе 2 уровень исследуемых показателей сократился на 0,20 и 0,17 % соответственно. Также отмечено увеличение числа соматических клеток во всех группах: в контрольной группе на 27,0 %, в группе 1 – на 19,0 % и группе 2 – на 15,0 %.

В ходе работы проведены гематологические исследования, направленные на установление изменений крови после перенесенного теплового воздействия и его влияния на некоторые метаболические процессы у животных (табл. 4).

При анализе данных установлено, что тепловой стресс отрицательно влияет на гематологические показатели животных, что может приводить к ухудшению, как физиологического состояния, так и молочной продуктивности. До диагностирования теплового стресса морфологические и биохимические показатели крови у животных находились в пределах физиологических норм для крупного рогатого скота.

**Таблица 4. Гематологические показатели опытных групп лактирующих коров, n = 5**

Показатели питательности	Контрольная группа		Опытные группы			
			Группа 1		Группа 2	
	М ± m	δ	М ± m	δ	М ± m	δ
<b>До начала теплового стресса</b>						
Лейкоциты, 10 <sup>9</sup> /л	9,81 ± 0,60	1,34	9,98 ± 0,75	1,67	9,88 ± 0,53	1,18
Эритроциты, 10 <sup>12</sup> /л	6,88 ± 0,37	0,82	6,86 ± 0,27	0,60	6,69 ± 0,25	0,56
Гемоглобин, г/л	102,20 ± 2,15	4,82	102,60 ± 2,75	6,15	105,20 ± 4,50	10,06
Гематокрит, %	30,82 ± 1,86	4,17	30,06 ± 1,69	3,78	31,46 ± 1,44	3,21
Общий белок, г/л	73,0 ± 1,22	2,74	73,40 ± 1,72	3,85	73,60 ± 1,29	2,88
Глюкоза, ммоль/л	3,30 ± 0,04	0,09	3,33 ± 0,02	0,05	3,32 ± 0,04	0,09
Кальций, ммоль/л	2,60 ± 0,11	0,25	2,66 ± 0,15	0,33	2,65 ± 0,10	0,23
Фосфор, ммоль/л	2,09 ± 0,08	0,19	2,16 ± 0,13	0,29	2,14 ± 0,11	0,25
<b>После воздействия теплового стресса</b>						
Лейкоциты, 10 <sup>9</sup> /л	8,92 ± 0,34	0,76	9,78 ± 0,70	1,56	9,79 ± 0,54*	1,20
Эритроциты, 10 <sup>12</sup> /л	7,22 ± 0,35	0,79	6,98 ± 0,25	0,56	6,84 ± 0,26	0,58
Гемоглобин, г/л	105,0 ± 2,92	6,52	103,80 ± 2,85	6,38	106,60 ± 4,50	10,06
Гематокрит, %	34,48 ± 1,90	4,24	31,98 ± 1,95	4,36	31,90 ± 1,40	3,14
Общий белок, г/л	70,08 ± 1,18	2,63	71,20 ± 1,67	3,73	71,76 ± 1,26	2,81
Глюкоза, ммоль/л	3,45 ± 0,04	0,09	3,44 ± 0,02	0,05	3,40 ± 0,04	0,10
Кальций, ммоль/л	2,50 ± 0,11	0,24	2,56 ± 0,14	0,32	2,57 ± 0,10	0,23
Фосфор, ммоль/л	2,01 ± 0,08	0,18	2,07 ± 0,13	0,28	2,08 ± 0,11	0,25

Примечание: \*P ≥ 0,90; М ± m – среднее значение ± стандартное отклонение; δ – стандартная ошибка среднего.

После воздействия избыточного тепла морфологический состав крови изменился (табл. 4). Количество лейкоцитов у всех групп коров снизилось. В контрольной группе данный показатель сократился на 9,01 %, в группе 1 – на 2,0 % и группе 2 – на 0,93 %. Снижение количества лейкоцитов в крови можно объяснить тем, что воздействие теплового стресса имеет иммунодепрессивное свойство, которое оказывает влияние на данный показатель. При этом количество красных кровяных телец имело положительную динамику роста. Уровень эритроцитов в контрольной группе вырос на 4,94 %, в группе 1 – на 1,81 % и группе 2 – на 2,27 %.

Поскольку гемоглобин входит в состав эритроцитов, с ростом этих клеток будет увеличиваться и содержание данного показателя. Количество гемоглобина в контрольной группе выросло на 2,74 %, в группе 1 – на 1,17 %, в группе 2 – на 1,33 %. Количество гематокрита у всех коров имело положительную динамику. Это связано с тем, что данный показатель отражает долю эритроцитов в общем объеме крови. При отборе проб крови на анализ фиксировалась ее повышенная вязкость. Следовательно, при повышении уровня гематокрита у клинически здорового животного можно предположить, что произошло тепловое воздействие на организм. Кроме этого, животные часто подходили к поилкам, у них отмечалось частое мочеиспускание, что ведет к вымыванию макро- и микроэлементов, а также является поводом для подозрения увеличения глюкозы в крови (сахарный диабет).

Далее были проведены биохимические исследования крови, которые показали, что воздействие теплового стресса оказывает отрицательное воздействие на белковый, углеводный и минеральный обмен. Количество общего белка сократилось в контрольной группе на 4,0 %, в группе 1 – на 3,0 % и группе 2 – на 2,5 %. Однако отмечено увеличение уровня глюкозы, что соответствует ранее высказанному предположению. Так, в контрольной группе уровень глюкозы вырос на 4,5 %, в группе 1 – на 3,5 %, в группе 2 – на 2,5 %. То есть у коров наблюдалось повышение уровня глюкозы, что может служить индикатором для диагностики теплового стресса, а также являться маркером для предотвращения состояния инсулинорезистентности. Введение соды в рацион животных позволило незначительно увеличить уровень глюкозы, что может являться средством профилактики последствий от теплового стресса.

С учетом частого мочеиспускания у коров отмечена отрицательная динамика содержания кальция и фосфора. Снижение данных макроэлементов связано также с тем, что животные при тепловом стрессе менее активно поедали хозяйственный рацион, содержащий необходимые минералы. В результате образовался отрицательный баланс, где поступление не покрывало потребностей организма в минералах, а их вывод с мочой способствовал активному вымыванию из организма, что объясняет их динамику в крови.

## ВЫВОДЫ

Получены данные, свидетельствующие о снижении молочной продуктивности, качества молока и ухудшения физиологического состояния крупного рогатого скота в результате влияния теплового стресса на организм животных. Разработана функционально-структурная схема реакции организма на тепловой стресс, которая может быть использована для создания алгоритмов цифровых систем мониторинга, анализирующих не только параметры микроклимата, но и физиологический статус животных в режиме реального времени.

Установлен терморегуляторный потенциал бикарбоната натрия через комплексный анализ молочных и гематологических параметров. Использование бикарбоната натрия обеспечило замедление снижения молочной продуктивности на 9,1 % (против 13,5 % в контроле), минимизацию изменений в содержании молочного жира (на 0,20 %) и белка (на 0,17 %), а также стабилизацию гематологических показателей (снижение уровня лейкоцитов на 0,93 %). Введение 200 г бикарбоната натрия в суточный рацион лактирующих коров позволило снизить негативное влияние теплового стресса ( $THI \geq 77$ ) на молочную продуктивность и качество молока.

Потребление буферной добавки положительно сказалось на морфологических и биохимических показателях крови. Полученные данные подтверждают необходимость дифференцированного подхода к дозировкам буферных добавок в зависимости от климатических условий.

Представленная работа является одним из этапов исследований для проектирования цифровой системы молочного животноводства («Умная ферма 2.0», проект ФГБНУ ФНАЦ ВИМ). ■

## THERMOREGULATORY POTENTIAL OF SODIUM BICARBONATE FOR LACTATING COWS UNDER THERMAL STRESS

Dmitry A. Blagov, Igor M. Dovlatov, Ilya V. Komkov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow

## ORIGINAL ARTICLE

Heat stress occurs when the temperature exceeds +25°C (THI ≥ 77). It reduces milk yield and worsens the welfare of dairy cattle. This research featured methods that minimize the effects of heat stress in mild climate. As a buffer additive, sodium bicarbonate can stabilize metabolism and increase the resistance of animals to stress factors. The experiment was conducted on 30 lactating Holstein cows under simulated thermal stress (+30°C, humidity 65–70%). Sodium bicarbonate was administered with morning feed in doses of 150 g (group 1) and 200 g (group 2). The microclimate parameters were monitored by Hobo U12-012 sensors. The analysis indicators included milk yield, milk quality (fat, protein, somatic cell count), and hematological parameters (leukocytes, glucose, hemoglobin). The data was processed using variation statistics. The addition of 200 g of sodium bicarbonate could reduce the drop in daily milk yield to 9.1% (vs. 13.5% in the control group), as well as minimized changes in milk fat and protein by 0.20 and 0.17%, respectively. The level of somatic cells increased by only 15% (vs. 30.56% in the control). The hematological analysis showed steady leukocytes (a decrease of 0.93%) and a moderate increase in glucose (by 2.5%), which was used as a stress biomarker. The data obtained were consistent with similar studies conducted in tropical regions; however, the doses were adapted to short-term thermal stress in mild climate. In this research, 200 g sodium bicarbonate per day reduced the negative effects of heat stress on milk yield and the physiological state of cows. The developed functional and structural scheme of response makes it possible to integrate the temperature and humidity index and hematological data into digital microclimate management systems, thus providing a tailored approach to dairy cattle farming. The results may facilitate the technological optimization of dairy cattle diets in conditions of seasonal climatic fluctuations.

**Keywords:** sodium bicarbonate, milk productivity, hematological dynamics, heat stress, temperature and humidity index, digital monitoring of microclimate, seasonal heat loads, effectiveness of feed additives

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобачевский, Я. П. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства / Я. П. Лобачевский, А. С. Дорохов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15, № 4. С. 6–10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>; <https://elibrary.ru/yfrzdv>
2. Лобачевский, Я. П. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве / Я. П. Лобачевский, Ю. С. Ценч // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16, № 4. С. 4–12. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12>; <https://elibrary.ru/idjfyv>
3. Boonkum, W. Impact of Heat Stress on Milk Yield, Milk Fat-to-Protein Ratio, and Conception Rate in Thai-Holstein Dairy Cattle: A Phenotypic and Genetic Perspective / W. Boonkum [et al.] // Animals. 2024. Vol. 14(20). 3026. <https://doi.org/10.3390/ani14203026>
4. Mylostyyvi, R. Correlations between environmental factors and milk production of holstein cows / R. Mylostyyvi, O. Chernenko // Data. 2019. Vol. 4(3). 103. <https://doi.org/10.3390/data4030103>
5. Kic, P. Influence of External Thermal Conditions on Temperature-Humidity Parameters of Indoor Air in a Czech Dairy Farm during the Summer / P. Kic // Animals. 2022. Vol. 12(15). 1895. <https://doi.org/10.3390/ani12151895>
6. Armstrong, D. V. Heat Stress Interaction with Shade and Cooling / D. V. Armstrong // Journal of Dairy Science. 1994. Vol. 77(7). P. 2044–2050. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77149-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77149-6)
7. Polsky, L. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare / L. Polsky, M. A. G. von Keyserlingk // Journal of Dairy Science. 2017. Vol. 100(11). P. 8645–8657. DOI:10.3168/jds.2017-12651.
8. Довлатов, И. М. Влияние теплового стресса, определение температурно-влажностного индекса / И. М. Довлатов [и др.] // Аграрная наука. 2024. № 10. С. 171–176. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-171-176>; <https://elibrary.ru/iywpl>
9. Dovlatov, I. M. Technology of Forced Ventilation of Livestock Premises Based on Flexible PVC Ducts / I. M. Dovlatov [et al.] // Lecture Notes in Networks and Systems. 2023. Vol. 852. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-50330-6\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-031-50330-6_34)
10. Brügemann, K. Defining and evaluating heat stress thresholds in different dairy cow production systems / K. Brügemann [et al.] // Archiv für Tierzucht. 2012. Vol. 55(1). P. 13–24. DOI: 10.5194/aab-55-13-2012. <https://doi.org/10.5194/aab-55-13-2012>
11. Zimbelman, R. B. A re-evaluation of the impact of Temperature Humidity Index (THI) and Black Globe Humidity Index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows / R. B. Zimbelman [et al.]. – Western Dairy Management Conference. – The University of Arizona, Tucson, 2009. – P. 158–168.
12. Heinicke, J. Effects of the daily heat load duration exceeding determined heat load thresholds on activity traits of lactating dairy cows / J. Heinicke [et al.] // Journal of Thermal Biology. 2018. Vol. 77. P. 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.08.012>
13. Pramod, S. Analysis of the effects of thermal stress on milk production in a humid tropical climate using linear and non-linear models / S. Pramod [et al.] // Tropical Animal Health and Production. 2021. Vol. 53(1). 66. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02525-x>
14. Lovarelli, D. Assessing the effect of barns structures and environmental conditions in dairy cattle farms monitored in Northern Italy / D. Lovarelli [et al.] // Journal of Agricultural Engineering. 2021. Vol. 52(4). <https://doi.org/10.4081/jae.2021.1229>
15. Leliveld, L. M. C. Dairy Cow Behavior Is Affected by Period, Time of Day and Housing / L. M. C. Leliveld [et al.] // Animals. 2022. Vol. 12(4). 512. <https://doi.org/10.3390/ani12040512>
16. Collier, R. J. Gebremedhin Thermal Biology of Domestic Animals / R. J. Collier, K. G. Gebremedhin // Annual Review of Animal Biosciences. 2015. Vol. 3. P. 513–532. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022114-110659>
17. Беседин, И. М. Системный эффект кратковременных локальных температурных воздействий слабой интенсивности на область головы / И. М. Беседин, М. А. Новикова, Л. Ф. Каленова // Медицинская наука и образование Урала. 2015. Т. 16, № 4(84). С. 55–58. <https://elibrary.ru/vdqysr>
18. Мохов, Б. П. Генезис использования обменной энергии в лактационной функции коров разного возраста и продуктивности / Б. П. Мохов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4(52). С. 268–275. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-4-268-275>; <https://elibrary.ru/gbnrwc>