УДК 636
EDN SEBGEK
DOI 10.71453/3034-4174-2026-1-54

СТРЕСС-ФАКТОРЫ В ПРОМЫШЛЕННОМ ЖИВОТНОВОДСТВЕ И ИХ КОРРЕКЦИЯ

Присакарь Елена Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры[1]
Борисова Ярослава Андреевна, студент [1]
Кишняйкин Егор Романович, магистрант[1]
[1]Кузбасский государственный аграрный университет им. В.Н. Полецкова, г. Кемерово, Россия

Аннотация: Стресс у сельскохозяйственных животных является одним из ключевых факторов, ограничивающих реализацию генетического потенциала продуктивности, воспроизводства и долголетия. В современных системах животноводства стрессовая нагрузка формируется под действием климатических, технологических, транспортных, социальных и кормовых факторов. Цель обзорной статьи обусловлена необходимостью поиска минимизации промышленных рисков в животноводстве. В данной статье рассмотрены работы, где показано, что хронический и острый стресс приводят к активации гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси, изменению обмена веществ, угнетению иммунитета, нарушению пищевого поведения и ухудшению репродуктивных функций. Это проявляется в снижении удоя, среднесуточного прироста, конверсии корма, качества мяса и в устойчивости к болезням. Для отслеживания состояния и благополучия сельскохозяйственных животных по различным показателям на производствах ведется мониторинг. Особое внимание уделено неинвазивным методам мониторинга: оценке поведения, активности, руминации, температурных реакций. Также рассмотрен анализ биомаркеров в слюне, молоке, волосе, фекалиях в сочетании с технологиями точного животноводства. По результатам исследования авторами предложен обзор наиболее встречаемых производственных стрессов и стрессовых реакций у животных, а также определено, что для принятия наиболее перспективных решений по управлению стрессом на сельскохозяйственных предприятиях необходим многофакторный мониторинг, сочетающий поведенческие, физиологические и производственные показатели, с последующим внедрением адресных мер по снижению тепловой, транспортной и технологической стрессовой нагрузки.

Ключевые слова: стресс, сельскохозяйственные животные, продуктивность, биомаркеры, мониторинг, точное животноводство.

STRESS FACTORS IN INDUSTRIAL LIVESTOCK FARMING AND THEIR CORRECTION

Prisakar Elena A., candidate of agricultural sciences sciences, Associate Professor[1]
Borisova Yaroslava A., student[1]
Kishnyaykin Egor R., master's student[1]
[1]Kuzbass State Agrarian University, Kemerovo, Russia

Abstract. Stress in farm animals is a key factor limiting the realization of genetic potential regarding productivity, reproduction, and longevity. In modern livestock production systems, stress arises from a combination of climatic, technological, transport-related, social, and nutritional factors. This review article aims to systematize data on the mechanisms by which stress affects farm animal productivity, as well as current monitoring methods and practical stress management approaches. The article examines studies demonstrating that both chronic and acute stress activate the hypothalamic-pituitary-adrenal axis, alter metabolism, suppress immune function, disrupt feeding behavior, and impair reproductive performance. These effects manifest as reduced milk yield, lower average daily weight gain, poorer feed conversion efficiency, diminished meat quality, and reduced disease resistance. Particular attention is paid to non-invasive monitoring methods, such as the assessment of behavior, activity levels, rumination, and thermal responses. The analysis of biomarkers in saliva, milk, hair, and feces-integrated with precision livestock farming technologies—is also discussed. The article concludes that the most promising stress management strategy involves multifactorial monitoring that combines behavioral, physiological, and production indicators, followed by the implementation of targeted measures to mitigate heat, transport, and technology-induced stress.

Keywords: stress, farm animals, productivity, biomarkers, monitoring, precision livestock farming.

Введение

Стресс в животноводстве следует рассматривать как системный фактор, способный влиять на физиологию, поведение сельскохозяйственного животного и его продуктивность. Высокопродуктивные животные особенно чувствительны к отклонениям микроклимата, нарушениям режима кормления, перегруппировке, транспортировке, ветеринарным манипуляциям и дефициту пространства. В результате даже кратковременные стрессовые воздействия могут вызывать падение удоя, замедление роста, ухудшение воспроизводства, снижение качества продукции и рост

заболеваемости [1]. Особую актуальность проблема приобрела в связи с интенсификацией животноводства. В частности, тепловой стресс рассматривается как один из главных лимитирующих факторов в молочном скотоводстве, свиноводстве и птицеводстве. Он влияет на физиологическое состояние животных, в том числе и на кормопотребление, иммунный статус, воспроизводительную функцию, другие технологические показатели качества продукции [5]. В условиях крупных промышленных комплексов имеют значение такие типы стрессов, как транспортный и технологический [6].

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью отслеживания (мониторинга) состояния и благополучия сельскохозяйственных животных и тех стрессоров, способных отрицательно сказаться на качестве и количестве животноводческой продукции.

Научная новизна обзорной статьи состоит в обобщении отечественных и зарубежных исследований по проблеме снижения влияния стресс-факторов на благополучие и продуктивность сельскохозяйственных животных.

Цель исследования – на основании обобщенных научных данных о влиянии стресс-факторов на продуктивность сельскохозяйственных животных определить основные пути минимизации стресса на промышленных сельскохозяйственных предприятиях посредством различных систем мониторинга. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1) проанализировать актуальные отечественные и научные исследования по стрессовым реакциям сельскохозяйственных животных на агропредприятиях;

2) охарактеризовать основные стрессоры в промышленном животноводстве;

3) систематизировать современные виды мониторингов состояния для дальнейшего управления стрессом у сельскохозяйственных животных;

4) предложить возможные мероприятия по минимизации стресс-факторов.

Материалы и методы

Исследование выполнено в формате обзорной статьи. В анализ включены 29 публикаций отечественных и зарубежных авторов, посвященных стрессу сельскохозяйственных животных, биомаркерам благополучия, тепловому стрессу, транспортному стрессу и системе точного животноводства. При подготовке обзора использовались публикации из научных журналов, индексируемых в международных и национальных базах данных, а также современные научные статьи по молочному скотоводству, свиноводству и птицеводству. Для достижения цели были проведены анализ отечественных и зарубежных исследований по проблеме снижения влияния стресс-факторов на благополучие и продуктивность сельскохозяйственных животных. При отборе материалов учитывались: релевантность теме, наличие прикладной

значимости для животноводства, практические методы мониторинга и опыт управленческих решений, а также возможность сопоставления физиологических и производственных показателей.

Результаты

Стрессовая реакция, в частности у сельскохозяйственного животного, представляет собой адаптивный ответ организма на воздействие сильного, экстремального фактора, как правило, неблагоприятного характера. В условиях интенсивного производства адаптация нередко переходит в дезадаптацию. Наиболее значимыми звеньями этого процесса являются активация симпатоадреналовой системы и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси, повышение секреции глюкокортикоидов, перераспределение энергетических ресурсов и изменение иммунного ответа организма. В краткосрочной перспективе это помогает животному сохранять гомеостаз, но при длительном воздействии стрессоров приводит к снижению продуктивности и истощает его адаптационные ресурсы [4].

Для молочного скотоводства отрицательная стресс-реакция обычно проявляется через падение потребления сухого вещества, уменьшение времени отдыха и руминации, рост частоты дыхания, изменение температуры тела и снижение удоя. При длительном воздействии продолжают ухудшаться воспроизводительные качества, увеличивается риск возникновения воспалительных процессов, а также изменяется, например у коров, качественный состав молока. При стрессе у свиней характерны задержка роста, снижение конверсии корма, изменение гормонального и антиоксидантного статуса и, соответственно, ухудшение качества мяса. В птицеводстве стресс сопровождается снижением иммунной резистентности и повышением чувствительности к микроклиматическим отклонениям, падением прироста, снижением яйценоскости [4].

Таким образом, стресс-реакция сельскохозяйственных животных зависит от ряда факторов, включая тепловую нагрузку, транспортировку, высокую плотность содержания и нарушение режима кормления. У животных в состоянии стресса снижается кормовая активность, меняются суточные ритмы, повышается возбудимость, агрессия или, наоборот, появляется заторможенность. Поэтому поведенческие сдвиги следует рассматривать как ранний диагностический признак стресс-реакции, зачастую предшествующий выраженному падению производственных показателей [11].

Технологический стресс у крупного рогатого скота связан с производственными процессами: фиксация, осмотр, обрезка копыт, доение, вакцинация, искусственное осеменение, отъем, сортировка и перевод в другие условия содержания [17].

Наиболее изученным стрессором является тепловой стресс. При повышении температуры и влажности у животных нарушается теплообмен,

возрастает дыхательная активность, изменяется периферическое кровообращение, снижается кормопотребление, происходит перерасход обменной энергии на терморегуляцию. Для молочного скота это означает падение удоя и ухудшение воспроизводства; для свиней и птицы – снижение приростов, конверсии корма и повышение риска метаболических нарушений [5].

Другим частым стрессором признан транспортный стресс. Он складывается из следующих факторов: отлова и погрузки, ограничения пространства, тряски, дефицита воды и изменения среды и температуры содержания. В литературе показано, что при транспортировке изменяются поведенческие и физиологические показатели сельскохозяйственных животных, в том числе изменение гормонального фона, потеря живой массы. При убое таких животных меняются pH, цвет и влагосвязывающая способность мяса [7].

Отдельно можно выделить социальные стрессоры: высокая плотность посадки, конкуренция за корм и воду, частые перегруппировки особей, нарушение стабильных связей в группе и дефицит мест для укрытия или отдыха. В свиноводстве и птицеводстве это особенно важно, поскольку социальное напряжение быстро отражается на объемах потребления корма, травматизме, измененных поведенческих реакциях и показателях роста [12]. Для полного понимания этиологии стрессовых состояний у сельскохозяйственных животных социальные триггеры следует рассматривать системно, а для снижения или устранения стрессовой нагрузки важно учитывать типы стресса и их влияние на физиологические показатели организма.

Для устранения разрыва между описанием физиологической реакции на стресс и его производственными последствиями целесообразно рассматривать каждый стрессор через прикладную цепочку: причина стрессовой нагрузки – измеряемый биомаркер или поведенческий индикатор – изменение продуктивности – управленческое решение. Такая схема особенно важна для практического животноводства, поскольку позволяет не ограничиваться констатацией измененного состояния или реакции, а переводить результаты мониторинга в конкретные решения по содержанию, кормлению, микроклимату, транспортировке и организации работы персонала.

В исследованиях по молочному скотоводству доказано, что тепловой стресс имеет выраженную количественную связь с удоем. Так, при росте температурно-влажностного индекса (THI) отмечалось снижение молочной продуктивности примерно на 0,15 кг молока на каждую единицу THI, а в других работах – до 0,2–0,41 кг молока на корову в сутки при превышении пороговых значений THI (норма 68–72). Исследование C. Palandri с соавторами подтверждает возможность количественной оценки теплового стресса через

прогнозирование производственных потерь. Изучение состояния 130 тыс. коров за 12 лет показало: экстремальная влажная жара снижает удои до 10% с долгосрочным эффектом более 10 дней. Применяемые на фермах системы охлаждения не способны полностью нивелировать этот спад. [30].

У свиней производственные последствия стрессовой нагрузки также имеют количественное выражение. При содержании животных при температуре 32,2 °С, по сравнению с 23,9 °С, отмечалось снижение среднесуточного потребления корма на 32,3 %, среднесуточного прироста – на 39,3 %, конечной живой массы – на 9,8 % и коэффициента прироста/корма – на 16,3 % [31]. Следовательно, тепловой стресс у свиней проявляется не только изменением физиологического состояния, но и прямым ухудшением откормочных показателей.

Связь между стрессоустойчивостью и продуктивностью мясного крупного рогатого скота доказывается такими маркерами, как особенности темперамента, уровни кортизола и креатинкиназы, а также объемы потребления сухого вещества. Так, в исследовании P. Llonch и соавторов более возбудимые и животные с ярче выраженным стресс-ответом показали более низкое потребление сухого вещества и меньший среднесуточный прирост. В указанном исследовании авторы связали концентрацию креатинкиназы с показателем темперамента, $r = 0,29$, $p = 0,015$ [32].

В свиноводстве перспективным направлением является использование слюны как неинвазивной матрицы для мониторинга. В исследовании коммерческих свиноводческих ферм было показано, что низкий среднесуточный прирост связан с повышенной альфа-амилазой у поросят на позднем этапе доращивания и повышенной креатинкиназой в начале откорма, а гаптоглобин был выше на фермах, где у животных наблюдались более низкие производственные показатели [33].

Таким образом, биомаркеры применяются как для оценки состояния животных, так и для раннего прогнозирования производственных проблем.

Мониторинг стресса в животноводстве уже не ограничивается клиническим осмотром и единичным определением кортизола в крови. Современный подход к оценке состояния сельскохозяйственных животных основан, как правило, на сочетании поведенческих и производственных показателей. **Поведенческий уровень** охватывает оценку ключевых жизненных проявлений животного: пищевую и двигательную активность, руминацию, смену фаз отдыха (лежание/стояние), звуковые сигналы, выраженность стереотипий, а также специфику социальных контактов и реакцию на человека. Такие показатели ценны тем, что позволяют выявить проблемы еще до появления выраженных клинических нарушений [13].

Ниже, в таблице 1, представлено влияние основных видов стрессов посредством показателей на продуктивность и возможные управленческие решения, направленные на снижение этих стресс-реакций.

Таблица 1

Связь стрессоров, биомаркеров, продуктивности и управленческих решений

Тип стресса	**Показатель**	**Последствие стресса**	**Управленческое решение**
Тепловой стресс у молочных коров	THI до 68, частота дыхания, температура тела, температура молока, снижение руминации	Снижение удоя примерно на 0,15–0,41 кг на каждую единицу THI выше порогового значения; при экстремальной влажной жаре – потери удоя до 10 %	Вентиляция, испарительное охлаждение, дополнительные поилки, затенение, корректировка режима кормления, оптимизация содержания
Тепловой стресс у свиней	Температура среды, снижение кормовой активности, кортизол, показатели слюны	При 32,2 °C наблюдается снижение потребления корма – на 32,3 %, среднесуточного прироста – на 39,3 %, предубойной массы – на 9,8 %	Вентиляция, оптимизация температурного баланса среды содержания, снижение плотности посадки, свободный доступ к воде, корректировка суточных рационов
Хронический технологический и социальный стресс у коров	Кортизол в волосе, фруктозамин крови, снижение руминации, неоднородность активности	Более выраженная потеря молока, ухудшение поведения отдыха и кормления	Уменьшение скученности, расширение фронта кормления, стабильные группы, снижение частоты резких перегруппировок
Транспортный и предубойный стресс у крупного рогатого скота	Кортизол, креатинкиназа, свободные жирные кислоты, поведение при погрузке	Снижение потребления сухого вещества, снижение среднесуточного прироста, риск ухудшения качества мяса (PSE и DFD)	Сокращение времени ожидания, соблюдение норм плотности погрузки, микроклимата и продолжительности перевозки
Социальный и санитарный стресс у свиней	Гаптоглобин, альфа-амилаза, креатинкиназа в слюне	Снижение среднесуточного прироста и сохранности поголовья	Ранний мониторинг партий, корректировка условий содержания, профилактика скученности, ветеринарный контроль проблемных групп
Стресс в птицеводстве	Нарушенные температурный и влажностный режимы, изменение активности и норм потребления кормов	Снижение яйценоскости, прироста, иммунной устойчивости	Контроль микроклимата, в том числе вентиляция помещений, оптимизация плотности посадки, светового режима и кормления

Для получения полной картины благополучия и точной оценки стресса **необходимо дополнить эти данные физиологическими методами**, которые позволяют зафиксировать скрытые регуляторные процессы организма

Среди физиологических методов наиболее широко применяется оценка концентрации **кортизола** (и его метаболитов в фекалиях, моче и молоке). Также для оценки стресса в животноводстве применяется комплекс связанных **эндокринных, биохимических, иммунологических и гематологических биомаркеров.** Однако выбор биоматериала принципиально важен. Кровь пригодна для оценки острой реакции, но сама процедура отбора способна индуцировать дополнительный стресс. Поэтому растет интерес к неинвазивным матрицам: слюне, молоку, волосу, перьям, фекалиям и ротовой жидкости. Волос и перья – лучшие показатели хронического стресса, тогда как слюна удобна для мониторинга острых реакций. В молочном скотоводстве и свиноводстве также изучаются показатели окислительного стресса, иммунные маркеры, температура поверхности тела и частота сердечных сокращений [15].

Ценность инфракрасной термографии заключается в бесконтактной регистрации температурных изменений в области глаза, морды, ушей и других участков тела. Термография особенно полезна при оценке теплового стресса и транспортных нагрузок, а также как компонент автоматизированных систем раннего предупреждения дистресса. При этом интерпретация данных требует учета микроклимата, породы и стадии продуктивного цикла [19].

Однако ни один из критериев нельзя назвать универсальным. Например, уровень кортизола колеблется в зависимости от возраста животного, времени суток и этапа лактации. Поведенческие же реакции определяются породой, условиями содержания и тем, как с животным обращались ранее. Продуктивные параметры, например удой или прирост, обладают высокой экономической значимостью и наблюдаются уже на более поздних стадиях стрессовой нагрузки. Поэтому наиболее надежной следует признать комплексный подход, где данные о поведении, физиологии и продукции анализируются совместно [20].

Снижение стрессовой нагрузки должно строиться по принципу профилактики, а не компенсирующих мероприятий на уже возникшие потери. Для теплового стресса базовыми мерами остаются вентиляция, испарительное охлаждение, затенение, свободный доступ к воде, корректировка плотности размещения и рационов, а также селекционный учет теплоустойчивости. В условиях молочного скотоводства наибольший эффект достигается при сочетании микроклиматического контроля с постоянным мониторингом поведенческих и терморегуляторных индикаторов [21].

Для уменьшения транспортного стресса важны подготовка животных к перемещению, снижение времени ожидания, корректная плотность погрузки, контроль микроклимата в транспорте, минимизация перегруппировки и обучение персонала низкострессовым методам обращения. Аналогичные принципы применимы и к технологическим манипуляциям: чем предсказуемее и спокойнее процедура, тем ниже ее физиологическая цена для животного [19].

Социальный стресс уменьшается за счет стабильности групп, достаточного фронта кормления, удобных зон отдыха и снижения конкуренции за ресурсы. В свиноводстве и птицеводстве положительный эффект дают средовые обогащения, профилактика скученности и раннее выявление аномального поведения. В молочном скотоводстве большое значение имеет качество контакта «человек — животное»: грубое обращение усиливает страх и ухудшает продуктивность, тогда как спокойная предсказуемая работа персонала способствует адаптации стада [24].

Перспективным направлением является адресная коррекция кормового стресса. Применение витаминов, электролитов, антиоксидантов и буферов помогает существенно смягчить последствия теплового и производственного стрессов у поголовья. Однако такие меры эффективны только как часть общей системы управления, а не как замена корректного содержания, микроклимата и технологии [26].

В целом логика управления стрессом должна проходить несколько этапов: сначала выявление риска по цифровым и биологическим индикаторам, затем локализация причины, после чего немедленная технологическая коррекция. Такой подход переводит проблему стресса из области постфактум-оценки в область оперативного управления продуктивностью и благополучием животных [9].

Обобщение технологических и организационно-хозяйственных подходов к управлению стрессом показывает, что коррекционные мероприятия целесообразно разделять на четыре группы. Первая группа включает микроклиматические мероприятия: вентиляцию, охлаждение, затенение, свободный доступ к воде, снижение плотности размещения и корректировку режима кормления в жаркий период. Эти меры особенно важны при тепловом стрессе, поскольку именно он имеет наиболее выраженную количественную связь с удоем, приростом и конверсией корма.

Вторая группа связана с технологической организацией производства. Сюда относятся снижение длительности транспортировки и ожидания, бережная погрузка и выгрузка, спокойная фиксация животных, уменьшение числа лишних перегруппировок, рациональное планирование ветеринарных процедур и обучение персонала низкострессовым методам обращения. Такой подход снижает острую активацию гипоталамо-гипофизарно-

надпочечниковой оси и уменьшает риск падения продуктивности после транспортных или технологических воздействий.

Третья группа включает социально-поведенческие меры: поддержание стабильных групп, достаточный фронт кормления и поения, удобные зоны отдыха, профилактику скученности, средовые обогащения для свиней и птицы, а также снижение конкуренции за ресурсы. Эти меры особенно важны при хроническом стрессе, который может не проявляться яркими клиническими признаками, но постепенно снижает кормовую активность, руминацию, приросты и репродуктивную эффективность.

Четвертая группа связана с цифровым и биологическим методами мониторинга На практике это означает использование не одного показателя, а комплекса данных: THI, двигательной активности, руминации, температуры тела или поверхности, объема удоя, массы прироста, норм кормопотребления, уровней кортизола, креатинкиназы, гаптоглобина, альфа-амилазы и других маркеров. Если система фиксирует отклонение, управленческое решение должно приниматься не как постфактум, когда продуктивность уже снизилась, а на ранней стадии, когда еще возможно предупредить производственные потери.

Заключение

Таким образом, данные исследования подтвердили, что производственный стресс у сельскохозяйственных животных влияет на их продуктивность и качество сельскохозяйственной продукции. Такое влияние носит многоуровневый характер: через нейроэндокринные, иммунные, поведенческие и метаболические механизмы стресс снижает молочную, мясную и репродуктивную эффективность, ухудшает качество продукции и повышает ветеринарные риски. Наиболее опасны не отдельные стрессоры, а их сочетание: тепловая нагрузка, транспортировка, перегруппировка, скученность и дефицит ресурсов. Для минимизации рисков стрессов на агропредприятиях необходимо в первую очередь проводить мониторинг состояния и благополучия сельскохозяйственных животных.

Современный мониторинг стресса должен основываться на сочетании нескольких групп показателей. Поведенческие признаки позволяют фиксировать ранние отклонения, физиологические биомаркеры уточняют характер и глубину стресс-реакции, а производственные параметры отражают ее экономические последствия. Наиболее перспективными являются неинвазивные методы контроля и технологии точного животноводства, обеспечивающие непрерывное наблюдение за стадом. В современном исполнении они включают акселерометры, RFID-метки, датчики положения тела, болюсы, микрофоны, видеокамеры, тепловизоры и алгоритмы машинного обучения. Такие системы позволяют автоматически фиксировать снижение активности, изменения руминации, кашель, перегрев, отклонения в

потреблении корма и воды, необычные двигательные паттерны и признаки социальной напряженности. В современных условиях цифровой мониторинг позволяет проводить оценку благополучия не разово, а непрерывно и контролируемо.

Практический вывод состоит в том, что управление стрессом должно быть встроено в повседневную систему менеджмента фермы. Эффективное снижение стрессовой нагрузки достигается за счет оптимизации микроклимата, рациональной организации перевозок и технологических процедур, стабилизации социальных условий содержания, обучения персонала и использования цифровых систем раннего предупреждения. Таким образом, контроль стресса следует рассматривать не только как элемент ветеринарного сопровождения, но и как важнейший резерв повышения продуктивности, благополучия и устойчивости современного животноводства.

Список литературы

1. Влияние различных стресс-факторов на организм сельскохозяйственных животных (обзор) / Е. А. Ажмулдинов, М. А. Кизаев, М. Г. Титов, И. А. Бабичева // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101, № 2. С. 79–89. EDN: XZCKOT.

2. Стресс как лимитирующий фактор в животноводстве (обзор) / Д. Е. Шошин, Н. Г. Ерофеев, Е. А. Сизова, М. Ю. Павлова // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 3. С. 138–162. DOI: 10.33284/2658-3135-107-3-138. EDN: IVEMAW.

3. Жучаев, К. В. Благополучие продуктивных животных (обзор) / К. В. Жучаев, М. Л. Кочнева, Е. А. Борисенко // Сельскохозяйственная биология. 2024. Т. 59, № 6. С. 1025–1038. DOI: 10.15389/agrobiology.2024.6.1025rus. EDN: SLRYTR.

4. Новгородова, И. П. Физиологические и поведенческие биомаркеры благополучия крупного рогатого скота // Вестник КрасГАУ. 2025. № 8. С. 177–192. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-177-192. EDN: HHUPSK.

5. Писаренко, А. В. Теплоустойчивость крупного рогатого скота и влияние теплового стресса на хозяйственно полезные признаки (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2025. Т. 60, № 2. С. 199–219. DOI: 10.15389/agrobiology.2025.2.199rus. EDN: XAMEGM.

6. Grandin, T. How Farm Animals React and Perceive Stressful Situations Such As Handling, Restraint, and Transport / T. Grandin, C. Shivley // Animals. 2015. Vol. 5, № 4. P. 1233–1251. DOI: 10.3390/ani5040409.

7. Nielsen, B. L. Road transport of farm animals: effects of journey duration on animal welfare / B. L. Nielsen, L. Dybkjær, M. S. Herskin // Animal. 2011. Vol. 5, № 3. P. 415–427. DOI: 10.1017/S1751731110001989.

8. Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its impact on animal welfare, carcass and meat quality: a review / K. S. Schwartzkopf-

Genswein, L. Faucitano, S. Dadgar [et al.] // Meat Science. 2012. Vol. 92, № 3. P. 227–243. DOI: 10.1016/j.meatsci.2012.04.010.

9. Neethirajan, S. Transforming the Adaptation Physiology of Farm Animals through Sensors // Animals. 2020. Vol. 10, № 9. Art. 1512. DOI: 10.3390/ani10091512. EDN: DKAXXQ.

10. Review: Precision livestock farming: building ‘digital representations' to bring the animals closer to the farmer / T. Norton, C. Chen, M. L. V. Larsen, D. Berckmans // Animal. 2019. Vol. 13, № 12. P. 3009–3017. DOI: 10.1017/S175173111900199X.

11. Schillings, J. Exploring the Potential of Precision Livestock Farming Technologies to Help Address Farm Animal Welfare / J. Schillings, R. Bennett, D. C. Rose // Frontiers in Animal Science. 2021. Vol. 2. Art. 639678. DOI: 10.3389/fanim.2021.639678. EDN: XTWGZS.

12. Benjamin, M. Precision Livestock Farming in Swine Welfare: A Review for Swine Practitioners / M. Benjamin, S. Yik // Animals. 2019. Vol. 9, № 4. Art. 133. DOI: 10.3390/ani9040133.

13. Rowe, E. A Systematic Review of Precision Livestock Farming in the Poultry Sector: Is Technology Focussed on Improving Bird Welfare? / E. Rowe, M. S. Dawkins, Gebhardt-Henrich S. G. // Animals. 2019. Vol. 9, № 9. Art. 614. DOI: 10.3390/ani9090614.

14. Narayan, E. Editorial: Minimally Invasive Monitoring of Stress in Farm Animals (Volume 1) / E. Narayan, S. S. Chauhan // Frontiers in Animal Science. 2022. Vol. 3. Art. 955817. DOI: 10.3389/fanim.2022.955817. EDN: FNFXJP.

15. Ataallahi, M. Selection of appropriate biomatrices for studies of chronic stress in animals: a review / M. Ataallahi, Ja. G. Nejad, K.-H. Park // Journal of Animal Science and Technology. 2022. Vol. 64, № 4. P. 621–639. DOI: 10.5187/jast.2022.e38. EDN: HRTEVA.

16. Heimbürge, S. The use of hair cortisol for the assessment of stress in animals / S. Heimbürge, E. Kanitz, W. Otten // General and Comparative Endocrinology. 2019. Vol. 270. P. 10–17. DOI: 10.1016/j.ygcen.2018.09.016.

17. Welfare assessment in dairy cows using hair cortisol as a part of monitoring protocols / U. Vesel, T. Pavić, J. Ježek [et al.] // Journal of Dairy Research. 2020. Vol. 87, № S1. P. 72–78. DOI: 10.1017/S0022029920000588. EDN: QZHKEL.

18. The Markers of Stress in Swine Oral Fluid / M. Giergiel, M. Olejnik, A. Jabłoński, A. Posyniak // Journal of Veterinary Research. 2021. Vol. 65, № 4. P. 487–495. DOI: 10.2478/jvetres-2021-0065. EDN: XODEAU.

19. Non-Invasive Biomarkers in Saliva and Eye Infrared Thermography to Assess the Stress Response of Calves during Transport / M. C. Lei, L. Félix, R. Cardoso [et al.] // Animals. 2023. Vol. 13, № 14. Art. 2311. DOI: 10.3390/ani13142311. EDN: PPLFCA.

20. Animal-related, non-invasive indicators for determining heat stress in dairy cows / G. Hoffmann, P. Herbut, S. Pinto, J. Heinicke [et al.] // Biosystems Engineering. 2020. Vol. 199. P. 83–96. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2019.10.017. EDN: MFPTKO.

21. Non-Invasive Methods of Quantifying Heat Stress Response in Farm Animals with Special Reference to Dairy Cattle / V. Sejian, C. G. Shashank, M. V. Silpa, A. P. Madhusoodan [et al.] // Atmosphere. 2022. Vol. 13, № 10. Art. 1642. DOI: 10.3390/atmos13101642. EDN: TDKMNE.

22. The Impact of Heat Stress on Immune Status of Dairy Cattle and Strategies to Ameliorate the Negative Effects / S. Gupta, A. Sharma, A. Joy [et al.] // Animals. 2023. Vol. 13, № 1. Art. 107. DOI: 10.3390/ani13010107. EDN: JPXINT.

23. Review of the Heat Stress-Induced Responses in Dairy Cattle / C. Giannone, M. Bovo, M. Ceccarelli [et al.] // Animals. 2023. Vol. 13, № 22. Art. 3451. DOI: 10.3390/ani13223451. EDN: YJOAOF.

24. Jurkovich, V. A Review of the Effects of Stress on Dairy Cattle Behaviour / V. Jurkovich, P. Hejel, L. Kovács // Animals. 2024. Vol. 14, № 14. Art. 2038. DOI: 10.3390/ani14142038. EDN: RUNFGZ.

25. Heat Stress in Dairy Cows: Impacts, Identification, and Mitigation Strategies-A Review / C. P. Oliveira, F. C. de Sousa, A. L. da Silva [et al.] // Animals. 2025. Vol. 15, № 2. Art. 249. DOI: 10.3390/ani15020249. EDN: KCYNGR.

26. Prates, J. A. M. Heat Stress Effects on Animal Health and Performance in Monogastric Livestock: Physiological Responses, Molecular Mechanisms, and Management Interventions // Veterinary Sciences. 2025. Vol. 12, № 5. Art. 429. DOI: 10.3390/vetsci12050429. EDN: RBNAEM.

27. Abiotic stressors in poultry production: A comprehensive review / C. M. Ncho, J. I. Berdos, V. Gupta [et al.] // Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2025. Vol. 109. P. 30–50. DOI: 10.1111/jpn.14032. EDN: MWXBVI.

28. Papatsiros, V. G. Stress Biomarkers in Pigs: Current Insights and Clinical Application / V. G. Papatsiros, G. Maragkakis, G. I. Papakonstantinou // Veterinary Sciences. 2024. Vol. 11, No. 12. Art. 640. DOI: 10.3390/vetsci11120640. EDN: HOFZJQ.

29. Svoboda, M. Non-invasive methods for analysing pig welfare biomarkers / M. Svoboda, M. Nemeckova, D. Medkova [et al.] // Veterinární Medicína. 2024. Vol. 69, № 5. P. 137–155. DOI: 10.17221/17/2024-VETMED. EDN: GOJEOV.

30. Palandri, C. High-frequency data reveal limits of adaptation to heat in animal agriculture / C. Palandri, E. G. Frank, A. Kimhi [et al.] // Science Advances. 2025. Vol. 11, № 27. Art. eadw4780. DOI: 10.1126/sciadv.adw4780. EDN: NPXZKR.

31. Causes, consequences and biomarkers of stress in swine: an update / S. Martínez-Miró, F. Tecles, M. Ramón [et al.] // BMC Veterinary Research. 2016. Vol. 12. Art. 171. DOI: 10.1186/s12917-016-0791-8. EDN: CBODZZ

32. Association of Temperament and Acute Stress Responsiveness with Productivity, Feed Efficiency, and Methane Emissions in Beef Cattle:

An Observational Study / P. Llonch, M. Somarriba, C.-A. Duthie [et al.] // Frontiers in Veterinary Science. 2016. Vol. 3. Art. 43. DOI: 10.3389/fvets.2016.00043.

33. Associations between health, productive performance and oral fluid biomarkers in commercial pig farms / M. A. S. Ornelas, E. G. Manzanilla, J. J. Cerón [et al.] // Porcine Health Management. 2024. Vol. 10. Art. 62. DOI: 10.1186/s40813-024-00418-1.