

**Инна Петровна Новгородова**

ФИЦ животноводства – ВИЖ им. академ. Л.К. Эрнста, Подольск, Московская область, Россия  
novg-inna2005@yandex.ru

## **ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ БИОМАРКЕРЫ БЛАГОПОЛУЧИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА**

*Цель исследования – анализ литературных данных, затрагивающих вопросы благополучия крупного рогатого скота. Были применены аналитические методы сбора информации с использованием 72 научных публикаций отечественных и иностранных авторов, связанных с вопросом благополучия крупного рогатого скота. Поиск научных статей был осуществлен путем работы с такими электронными базами, как Scopus, Web of Science, Elibrary, PubMed, ScienceDirect, Nation Library of Medicine, SpringerLink, Wiley online Library и др. Основные методы для выявления благополучия в сельском хозяйстве связаны с поведенческими и физиологическими индикаторами, в т. ч. с биомаркерами различного характера (кортизол, окситоцин, окислительный стресс и т. д.). Исследования, направленные на поиск биомаркеров с целью определения благополучия животных, подтверждают их необходимость в программах разведения с учетом продуктивности и здоровья. Поведенческие биомаркеры являются ключевыми при оценке благополучия животных и напрямую зависят от стресса. Стресс влияет на производительность и нарушает многие функции (нервную, репродуктивную, иммунную и др.). Именно поэтому наблюдается интерес к темпераменту животных и его связи с продуктивностью. К идеальным условиям животных относят такие, при которых оно не испытывает жажды, голода, дискомфорта, боли, травм, болезней. Методы оценки благополучия животных являются востребованными, поэтому они постоянно совершенствуются. При ведении современного животноводства необходимо проводить корреляцию темперамента с метаболическими, генетическими, иммунологическими, производственными и репродуктивными параметрами, оказывающими влияние на экономические параметры содержания крупного рогатого скота. Для увеличения популяции особей с желаемым темпераментом нужно стандартизировать методы оценки темперамента и сделать их обязательным элементом селекционно-ветеринарной экспертизы, а также проводить дальнейшие исследования, направленные на понимание комплексного использования различных биомаркеров для оценки благополучия животных.*

**Ключевые слова:** благополучие, стресс, продуктивность, поведенческие реакции, биомаркеры, кортизол, крупный рогатый скот

**Для цитирования:** 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.

**Финансирование:** работа выполнена в рамках государственного задания при финансовой поддержке Минобрнауки № 124020200032-4 (FGGN-2024-0016).

**Inna Petrovna Novgorodova**

FRC of Animal Husbandry – All-Russian Research Institute of Animal Husbandry named after Academician L.K. Ernst, Podolsk, Moscow Region, Russia  
novg-inna2005@yandex.ru

## PHYSIOLOGICAL AND BEHAVIORAL BIOMARKERS OF CATTLE WELFARE

The aim of the study is to analyze literature data on cattle welfare. Analytical methods for collecting information were studied using 72 scientific publications by domestic and foreign authors related to cattle welfare. The search for scientific papers was carried out by working with such electronic databases as Scopus, Web of Science, Elibrary, PubMed, ScienceDirect, Nation Library of Medicine, SpringerLink, Wiley online Library, etc. The main methods for identifying welfare in agriculture are associated with behavioral and physiological indicators, including biomarkers of various types (cortisol, oxytocin, oxidative stress, etc.). Studies aimed at finding biomarkers to determine animal welfare confirm their need in breeding programs taking into account productivity and health. Behavioral biomarkers are key in assessing animal welfare and directly depend on stress. Stress affects productivity and disrupts many functions (nervous, reproductive, immune, etc.). This is why there is interest in the temperament of animals and its connection with productivity. Ideal conditions for animals include those in which they do not experience thirst, hunger, discomfort, pain, injuries, or illnesses. Methods for assessing the welfare of animals are in demand, so they are constantly being improved. In modern animal husbandry, it is necessary to correlate temperament with metabolic, genetic, immunological, production and reproductive parameters that indicate the impact on the economic parameters of cattle management. To increase the population of individuals with the desired temperament, it is necessary to standardize the methods of temperament assessment and make them a mandatory element of selection and veterinary expertise, as well as conduct further research aimed at understanding the integrated use of various biomarkers to assess animal welfare.

**Keywords:** welfare, stress, productivity, behavioral responses, biomarkers, cortisol, cattle.

**For citation:** Novgorodova IP. Physiological and behavioral biomarkers of cattle welfare. *Bulletin of KSAU*. 2025;(8):177-192. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-177-192.

**Financing:** the work was carried out within the framework of the state assignment with financial support from the Ministry of Education and Science № 124020200032-4 (FGGN-2024-0016).

**Введение.** Животноводство является важной отраслью, обеспечивающей людей продовольствием, поэтому основное внимание при оценке благополучия крупного рогатого скота уделяется доступности корма, воды и условий микроклимата, технологии содержания, а также мерам, основанным на поведении животных, отношении между человеком и животными и т. д. [1–3].

Основной целью отбора на протяжении всего процесса одомашнивания крупного рогатого скота (*Bos taurus*) (около 8000–9400 лет назад) была степень приспособленности животного к содержанию в неволе и получение животноводческой продукции. В настоящее время усиление интенсификации систем производства молока в отрасли животноводства на крупных сельскохозяйственных предприятиях и племязаводах, в т. ч. внедрение роботизированных доильных аппаратов, автоматических кормушек и т. д., способствует растущему интересу к более жесткому отбору, разведению животных с учетом улучшения их приспособленности (адаптации) к новым технологиям, применяемых в настоящее время.

D. Fraser (2008) «обосновал четыре принципа, определяющих высокую степень благополу-

чия: сохранение здоровья (обеспечение кормом, водой, вакцинации, содержание в хорошем микроклимате, предупреждение болезней и потерь от падежа, сохранение нормальных кондиций и продуктивности животных); снижение боли и дистресса (использование анестезии при декорнуации, предупреждение хромоты, синяков, ран, теплового и холодового стресса, исключение грубого обращения с животными); обеспечение свойственного виду поведения и эмоционального состояния (боксы несушкам, материал для рытья свиньям); природные элементы в окружающей среде (выгул, солнечный свет)» [4].

K. Carlstead с другими учеными (2013) рассматривали благополучие животных как «способность успешно адаптироваться к условиям среды при отсутствии страданий» [5]. Благополучие животных зависит от возраста, физиологического состояния, в т. ч. обмена веществ, иммунной системы, гормонального статуса, поведения и других факторов. Немалое значение при этом отводится таким факторам, как технологии (размещение, микроклимат, кормление, использование, методы обращения и т. д.), состояние (поведение, упитанность, загрязненность, проб-

лемы с конечностями, раны на коже) и физиологические показатели (частота сердечных сокращений, дыхание, температура тела) [6].

К.В. Жучаев с соавторами (2024) в своей работе отмечали, что «критериями оценки высокого уровня благополучия животных выступают хорошее кормление (отсутствие длительного голода и жажды), правильное содержание (температурный комфорт и свободное движение), здоровье (без ран, болезней и боли при операциях), поведение животных (отсутствие нарушений поведения и хорошее взаимодействие с человеком)» [6].

В условиях повышенной интенсификации производства молока особое внимание необходимо уделять биомаркерам для определения физиологического дисбаланса, приводящего к заболеваниям различной этиологии. Несмотря на востребованность оценки темперамента животных, в программах разведения скота отсутствуют их объективные индикаторы оценки благополучия [7, 8]. Биомаркеры являются важными носителями информации при аналитическом подходе в животноводстве, и они должны быть точными, объективными и неинвазивными.

Для измерения биомаркеров необходимо, чтобы животное находилось в покое или испытывало минимальное беспокойство, если процедура отбора проб вызывает изменение в состоянии животного, то уровень любого биомаркера будет искажен. Предпочтительным является их измерение в легкодоступных матрицах, чтобы избежать физиологических реакций, оказывающих влияние на состояние животных. Было разработано несколько методов для измерения биологических образцов, отличных от крови и слюны, в т. ч. в моче, кале и волосах. Немаловажным является и тот факт, что методы отбора проб и анализа должны быть легко осуществимыми и практичными как при индивидуальном подходе, так и при групповом использовании [9].

Биомаркеры являются биологическими молекулами, используемыми для понимания физиологического процесса или диагностики аномального процесса или заболевания. Несмотря на эти технические проблемы и практические трудности, связанные с идентификацией и проверкой биомаркеров для прикладного применения «в поле и на ферме» в области животноводства, их поиск остается актуальным.

Генетический потенциал крупного рогатого скота не всегда может быть полностью реализован как из-за условий содержания и несбалансированного кормления, так и из-за состояния здоровья животных. Эти факторы являются основными показателями благополучия животных и позволяют проводить оценку на молочно-товарных комплексах, племпредприятиях. В научно-исследовательском центре Вагингенского университета (Нидерланды) была разработана методика для определения благополучия Welfare Quality. Ее оценку проводят по баллам в соответствии с несколькими критериями (здоровье, поведение и др.) [10]. Эти критерии связаны с технологиями ведения животноводства, а также с зоотехнией и ветеринарией (профилактика и лечение).

В последние 100 лет направление селекции связано с генетическим улучшением производственных признаков (удой, скорость роста и т. д.) [11]. Будущие стратегии разведения животных должны быть направлены на достижение баланса между высоким уровнем продуктивности и оптимальным состоянием здоровья и благополучием. Это в свою очередь может привести к снижению их физической формы, повышению восприимчивости к инфекционным и метаболическим заболеваниям, проблемам с опорно-двигательным аппаратом и бесплодию.

Основными причинами, приводящими к нарушению благополучия животных, являются инфекционные заболевания [12], несбалансированное питание [13], генетика [8]. Эндокринная система участвует в процессе адаптации к окружающей среде при долгосрочных реакциях, а нервная – при краткосрочных реакциях [13]. Психологическое состояние (страх или тревога) активирует физиологические реакции организма. Для поддержания гомеостаза при восприятии угрозы животному развивается поведенческий, эндокринный или иммунный ответ. В связи с этим существует необходимость валидации существующих биомаркеров, а также внедрение новых, используемых для мониторинга их благосостояния и улучшения [14].

**Цель исследования** – анализ литературных данных, затрагивающих вопросы благополучия крупного рогатого скота.

**Объекты и методы.** В работе были изучены аналитические методы сбора информации с

использованием 72 научных публикаций отечественных и иностранных авторов, связанных с вопросами благополучия крупного рогатого скота. Поиск научных статей был осуществлен путем работы с такими электронными базами, как Scopus, Web of Science, Elibrary, PubMed, ScienceDirect, Nation Library of Medicine, SpringerLink, Wiley online Library и других с использованием ключевых слов: благополучие (welfare), стресс (stress), продуктивность (productivity), поведенческие реакции (behavioral responses), биомаркеры (biomarkers), кортизол (cortisol), крупный рогатый скот (cattle). Для изучения поставленного вопроса были проанализированы источники за последние 20 лет на территории Российской Федерации, Соединенных Штатов Америки, Румынии, Испании, Польши, Австрии, Италии, Китая, Австралии. В задачи аналитического поиска входило изучение биомаркеров, используемых для оценки благополучия крупного рогатого скота.

#### **Результаты и их обсуждения**

**Факторы, используемые для определения благополучия животных.** Особую роль в благополучии животных играет высшая нервная деятельность, основанная на процессах, происходящих преимущественно в коре головного мозга, определяющих поведение животных [15]. Связь между этими характеристиками детерминантная. Смелость, активность, агрессивность, эмоциональность (пугливость, беспокойство или нервозность) и общительность являются основными признаками, используемыми для описания темперамента животных. В зависимости от жизненных ситуаций у животных могут изменяться двигательная активность, поза тела, концентрация гормонов (например кортизола), частота сердечных сокращений и другие показатели. Поведенческие и физиологические изменения контролируются нервной системой и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой (ГН) осью [16]. Для оценки благополучия животных очень важным является наличие объективных средств их определения. На сегодняшний день для оценки благополучия животных используются различные биомаркеры, в т. ч. поведенческие и физиологические. Эти биомаркеры являются наиболее информативными [17]. Остановимся более подробно на каждом из них.

**Биомаркеры поведения.** Анализ литературных источников, затрагивающих признаки темперамента животных, дает основание для использовании их в программах отбора скота по нескольким критериям, в т. ч. благополучия [18]. Темперамент крупного рогатого скота – многомерный и сложный биологический признак, характеризующийся стабильным поведением и физиологическими реакциями на сложные ситуации [19]. Эта оценка представляет важную информацию о физическом, физиологическом и психологическом состоянии животного, включая иммунитет, уровень стресса и метаболические процессы.

В настоящее время темперамент в условиях фермы определяется как поведенческая реакция, наблюдаемая при контакте с людьми, а также реакция животного на новые объекты или стрессовые ситуации [7]. Темперамент животных оценивают с помощью поведенческих реакций с учетом частоты и интенсивности их движений, отражающих уровень страха и отзывчивости [1, 20]. В основном животных проверяют на агрессию или чрезмерный страх во время обращения или доения с последующей выбраковкой таких особей. Но такие признаки обычно не включаются в индексы отбора, несмотря на то, что существуют экономические и социальные факторы безопасности.

На сегодняшний день наиболее востребованным является отбор между породами или внутри пород, охватывающий широкий набор признаков, в т. ч. таких как здоровье и «пригодность». В основном это тесты, связанные с реакцией на движущегося или неподвижного человека и реакция на манипулирование. В зависимости от продуктивности скота (молочный или мясной) используемые методы различаются по количеству времени, необходимого для их выполнения, и условий. Наибольшее внимание уделяют признакам, связанным с прибыльностью и которые легко могут быть измерены (надой, масса тела). Так, у коров молочного направления темперамент оценивают во время процесса доения [21–23], у мясных пород наиболее распространенным методом является использование желоба и реакции животного после выхода из него [24]. Многие исследователи изучали связь темперамента крупного рогатого скота с такими признаками, как удой [1, 7, 25], рост [20],

репродуктивная функция [1] и восприимчивость к различным заболеваниям [20]. Дистанция избегания в ответ на движение человека является одним из наиболее часто используемых тестов в мясном скотоводстве. Поведение животного можно многократно тестировать в строго определенных условиях, обеспечивающих повторяемость оценки.

V.T. Golovan с соавторами (2023) изучали влияние типа высшей нервной деятельности на секрецию молока при различных условиях доения [26]. Они отметили целесообразность определения стрессоустойчивости животных с учетом типов высшей нервной деятельности и предложили использовать для разработки экспресс-методов определение типов стрессоустойчивости и комплектования стад молочных комплексов с учетом закономерностей изменения секреторной функции молочной железы.

Как у молочного, так и у мясного скота признаки, связанные с темпераментом, имеют большое значение для благополучия животных и экономической эффективности, так как особи с определенным темпераментом растут быстрее, их проще обслуживать, транспортировать и кормить, у них более высокое качество мяса. Беспокойные животные могут угрожать как безопасности скота, так и людям, ухаживающим за ними [27]. Более спокойные коровы имеют значительно более высокие надои, снижается риск развития метаболических заболеваний [1, 28, 29]. Многие исследователи выявили закономерную связь реактивного поведения животного с более низкой производительностью, низкими показателями откорма, низким качеством туш, а также отрицательным влиянием на признаки качества мяса [30, 31]. У наиболее возбудимых коров рождались телята с наименьшим весом [31].

Улучшение благополучия животных является основным фактором для оценки других признаков продуктивности. Считается, что животные, которые не испытывают чрезмерного страха перед новыми объектами или изоляцией от других животных, будут лучше справляться с современными интенсивными системами ведения хозяйства [32].

Темперамент крупного рогатого скота можно улучшить с помощью генетического отбора и акклиматизации молодых животных к взаимо-

действию с человеком, а также с процедурами, направленными на обращение с ними [33]. Понимание реакций животных на стрессовые раздражители является основополагающим аспектом оценки благополучия животных, так как подтверждено, что крупный рогатый скот с более возбудимым темпераментом проявляет повышенную реакцию на стресс [34, 35]. Методы генетического отбора крупного рогатого скота с учетом поведенческих и физиологических реакций на стресс позволяют проводить выбраковку определенных особей.

Поведение сельскохозяйственных животных, в частности крупного рогатого скота, является экономически значимым, так как оно влияет на показатели выращивания, содержания и экономическую эффективность [35]. Для оценки благополучия животных очень важным является использование объективных методов с возможностью ежедневного использования [36].

Принимая во внимание значительное влияние темперамента на благополучие крупного рогатого скота (продуктивность, воспроизводство, здоровье, долголетие и т. д.), необходимы дальнейшие исследования для установления простого, дешевого и легко повторяемого теста, применяемого при различных условиях содержания и разведения как молочного, так и мясного направления. Поведенческие тесты являются неинвазивными и могут быть применены на отдельных животных или в группах, а также адаптированных ко многим условиям. Несмотря на их практичность, основные ограничения поведенческих индикаторов при оценке благополучия животных заключаются в том, что они либо неспецифичны, либо слишком специфичны для вида, а также подвержены индивидуальным различиям [17].

**Физиологические биомаркеры.** Физиологические биомаркеры благополучия животных связаны с оценкой биологического функционирования [37, 38]. Их делят на эндокринные биомаркеры, окислительного стресса и термобиологические. Рассмотрим некоторые из них более подробно.

**Эндокринные биомаркеры.** К эндокринным биомаркерам относятся окситоцин, гормон роста, инсулиноподобный фактор роста, кортизол и т. д. Одним из наиболее востребованных биомаркеров является кортизол, отвечающий за

стрессустойчивость животных. От типа нервной деятельности животных зависит уровень устойчивости к стрессам и их разведение при различных условиях интенсивности использования [39, 40]. Доказано, что особи с сильным типом нервной системы обладают более высокими адаптационными, защитными и компенсаторными возможностями организма. Оценка крупного рогатого скота с учетом типов высшей нервной деятельности позволяет прогнозировать продуктивность и выявлять перспективных особей для дальнейшего их разведения.

Стрессовое состояние у животного активирует очень сложный гомеостатический механизм, тесно связанный с его благополучием. Неспецифическая реакция на стресс напрямую зависит от гипоталамус-гипофиз-надпочечниковой (ГГН) оси. Угроза гомеостаза в течение длительного периода может вызвать гиперактивность нейроэндокринной системы и оказать плохое влияние на животного. Это в свою очередь может привести к сокращению продолжительности жизни, ущербу роста, ослаблению воспроизводства, предрасположенности к заболеваниям и т. д. [25, 41]. Единая мера стресса может быть ненадежной, именно поэтому с целью получения более полной информации для оценки благополучия животных используют несколько биомаркеров. Изменение гормонального профиля как основного профиля стресса дополняют поведенческими и иммунологическими изменениями.

Глюкокортикоиды регулярно измеряют для оценки реакции на стресс и рассматривают как индикатор негативного состояния организма. В основном для его определения в качестве матрицы используют плазму или сыворотку крови, но наибольшее предпочтение отдают другим биологическим материалам (слюна, моча, фекалии и волосы), так как отбор этих проб не вызывает стрессовой реакции у животных [42, 43]. Измерение глюкокортикоидов в каждом типе образца дает различную информацию о физиологии животного из-за различий во времени между синтезом, транспортировкой, депонированием в матрице и метаболизмом [37, 38]. Измерение кортизола в слюне часто используется для получения информации об остром стрессе, в случае с образцами волос – о хроническом стрессе в течение недель, месяцев и даже лет [44].

Было выявлено, что у более восприимчивых животных наблюдается повышенное содержание кортизола в плазме крови и слюне [45, 46]. Также доказано, что концентрация кортизола в молоке выше у коров с более реактивным темпераментом во время доения (реакция во время подготовки и прикрепления доильного стакана, тенденция к брыканию во время доения). Это указывает на то, что такие особи проявляют поведенческие и физиологические признаки стресса во время доения и являются более восприимчивыми при рутинном обращении [42].

По результатам исследований L. Hedlund, H. Lovlie (2015) и M.G. Marcal-Pedroza с соавторами (2020, 2023) не было обнаружено связи между коровами с возбудимым темпераментом в доильном зале и концентрацией кортизола [20, 28, 47].

В то же время отбор проб крови для определения концентрации кортизола в крови является инвазивным методом, при котором происходит активация гипоталамус-гипофиз-надпочечниковой оси и повышение уровня этого гормона [20, 28] вследствие визуальных, слуховых, обонятельных и тактильных реакций, являющихся стрессовыми [33].

Концентрация кортизола в крови в качестве маркера нейроэндокринной реакции на стресс имеет отрицательную связь с воспроизводством у крупного рогатого скота. Повышенное содержание кортизола связано со снижением активности гонадотропина и стероидогенеза яичников у самок, а также снижением коэффициентов и увеличением прерывания стельности [33].

Метод определения концентрации кортизола в молоке для выявления действия стресса у животных используют, потому что он относится к неинвазивным [20, 28]. Его можно рассматривать в качестве биомаркера для оценки краткосрочного или среднесрочного стресса (в данный момент – в крови и от 10–14 ч – в молоке) [48]. R.C. Cooke с соавторами (2017) предложили использовать волосы (шерсть) для определения содержания кортизола, так как этот метод позволяет избежать эффекта острого стресса [21].

*Маркеры окислительного стресса.* Окислительный стресс возникает при нарушении окислительно-восстановительного гомеостаза. При

этом наблюдается дисбаланс за счет увеличения выработки активных форм кислорода (ROS) и азота (RONS), а также уменьшения потребления или синтеза антиоксидантов или увеличения количества антиоксидантов как при физиологических, так и патологических состояниях организма [17, 49]. Внешние факторы окружающей среды играют значительную роль в профилактике окислительного стресса за счет повышения уровня антиоксидантов. Уровень окислительного стресса может использоваться для оценки состояния животного путем измерения реактивных видов и антиоксидантов окислительно-восстановительного баланса [17, 50]. Наиболее часто используемыми маркерами окислительного стресса являются глутатион и малоновый диальдегид, вырабатываемые в головном мозге и играющие нейропротекторную роль [51, 52].

Окислительный стресс влияет на течение отрицательного энергетического баланса у коров на поздних стадиях стельности, во время родов и в начале лактации, а также при маститах и воспалительных процессах в матке и т. д.

Малондиальдегид является биомаркером перекисного окисления липидов и представляет собой низкомолекулярный продукт, образующийся при распаде полиненасыщенных жирных кислот. В молоке коров в переходный период его концентрация очень высокая в начале лактации, а затем снижается. Была выявлена обратная корреляция его содержания с количеством дней лактации [53]. Также отмечено, что содержание малондиальдегида выше у молочных коров, отелившихся в летний период, по сравнению с отелившимися зимой [54]. Необходимы дальнейшие исследования, направленные на использование биомаркеров при изучении окислительного стресса организма у крупного рогатого скота.

*Биомаркеры энергетического баланса.* Период от поздней стельности до лактации представляет важную метаболическую проблему для коров. В это время потребление энергии не соответствует потребностям для поддержания тела и производства молока, что приводит к отрицательному энергетическому балансу и высокой мобилизации жировой ткани. Если не происходит адаптации, то риск метаболических нарушений значительно возрастает, что проявляется

ся в возникновении кетоза, гипокальциемии, перерождения печени и других заболеваний. Отрицательный энергетический баланс (ОЭБ) приводит к более низким показателям оплодотворения, ранней эмбриональной смертности, снижению эструса. Способы выявления ОЭБ основаны на метаболитах крови и оценке упитанности тела, которые представляют собой достаточно сложный сбор данных (индивидуальное потребление корма и масса тела) или инвазивного, трудоемкого сбора крови. Именно поэтому существует потребность в использовании неинвазивных биомаркеров крови, молока, волос [8].

Биомаркеры крови для диагностики ОЭБ жирных кислот являются самыми распространенными и отражают степень мобилизации жира в печени. Их повышенные концентрации приводят к уменьшению надоев молока, нарушению иммунитета, повышению рисков к инфекционным заболеваниям.

S.J. LeBlanc с соавторами (2005) и K.L. Ingvartsen с соавторами (2006) в качестве биомаркеров кетоза рассматривали концентрацию глюкозы, незэстерифицированных жирных кислот и  $\beta$ -гидроксипутирата в крови [55, 56]. M. Piechotta с соавторами (2012) отметили, что концентрации сывороточных незэстерифицированных жирных кислот и IGF-1 до родов связаны с послеродовыми заболеваниями [57]. Концентрация незэстерифицированных жирных кислот в крови отражает степень мобилизации жира,  $\beta$ -гидроксипутират указывает на окисление жира в печени. Поэтому их широко используют в качестве индикаторов ОЭБ [58, 59]. Повышенные концентрации незэстерифицированных жирных кислот и  $\beta$ -гидроксипутирата в крови связаны со снижением удоев [60], а также с ухудшением околоплодного иммунитета и повышенным риском инфекционных заболеваний [61–63]. Измерение  $\beta$ -гидроксипутирата в молоке позволяет выявлять информацию об энергетическом статусе животного и своевременно проводить профилактику кетоза.

Биомаркеры для выявления ацидоза рубца могут быть измерены в крови, моче, фекалиях или молоке. D-лактат был предложен в качестве маркера ацидоза рубца в крови, он синтезируется в рубце исключительно лактобактериями и бифидобактериями [64], плохо метаболизиру-

ется млекопитающими и накапливается в жидкостях организма [65].

Метаболические изменения в молочной железе связаны с уровнем в крови свободной глюкозы, глюкозы-6-фосфата [66] и изоцитрата [67] и являются потенциальными индикаторами физиологического дисбаланса и риска заболеваний у животных. Значения  $\beta$ -гидроксibuтирата в молоке также применяют как показатель субклинического и клинического кетоза [68]. Жирные кислоты молока можно использовать в качестве биомаркеров энергетического баланса у коров. Во время лактации энергетический статус животных приводит к изменениям в составе жирных кислот молока [69]. У животных, находящихся в условиях ОЭБ, синтез жирных кислот *de novo* происходит за счет молочной железы, и наблюдается их снижение в пользу увеличения мобилизации жира в организме [70].

*Термобиологические маркеры.* Изменения температуры тела контролируются циркадной системой и активируют терморегуляторные эффекторы. Температурные параметры изменяются в зависимости от различных биологических факторов (размер тела, возраст, пол, уровень активности, доступность корма, температура окружающей среды) [17]. Таким образом, изменения в физиологии и поведении животного могут влиять на циркадный ритм его температуры тела.

Стресс-индуцированная гипертермия является острой реакцией температуры тела, включающей быстрое и временное увеличение температуры в ответ на психологический стресс и может также рассматриваться в качестве биомаркера благополучия [67]. При этом наблюдается постепенный возврат к нормальным показателям после устранения стрессора. Стресс-индуцированная гипертермия наблюдается в ответ на обработку, стрижку, ограничение и социальное воздействие на животных [34].

В настоящее время для оценки благополучия животных достаточно распространено использование таких технологических устройств, как камеры видео-визуализации, ошейники активности, шагомеры, датчики микрочипов [7]. Возможности этих устройств позволяют определять активность животного (движение), в т. ч. температуру, частоту дыхания, активность жевания, пищевое поведение и так далее при удаленном измерении в полевых условиях. Камеры видео-визуализации используют на молочных комплексах для обнаружения хромоты, оценки туши, что позволяет минимизировать взаимодействие между человеком и животными. Эти технологии остаются дорогостоящими и зависят от инфраструктуры передачи данных о состоянии в режиме реального времени, но в то же время подтверждена их перспективность для автоматизированной оценки благополучия животных [71, 72].

**Заключение.** Таким образом, благополучие животных зависит от многих факторов и связано со многими признаками их здоровья, наиболее доступными из которых на сегодняшний день являются поведенческие и физиологические. К основным преимуществам при выборе методов оценки благополучия животных относятся те, которые можно использовать в полевых условиях и когда время для проведения анализа является минимальным. Мониторинг животных с использованием биомаркеров позволит выявлять нарушения различных заболеваний на ранних стадиях. Необходимы дальнейшие исследования, направленные на понимание комплексного использования различных биомаркеров для оценки благополучия, так как использование одного из них не охватывает весь спектр исследований с учетом времени и места использования.

#### Список источников

1. Mincu M., Gavojdian D., Nicolae I., et al. Effects of milking temperament of dairy cows on production and reproduction efficiency under tied stall housing // *Journal of Veterinary Behavior*. 2021. Vol. 44. P. 12–17. DOI: 10.1016/j.jveb.2021.05.010. EDN: UWUZDU.
2. Rosa G.J.M. Grand Challenge in Precision Livestock Farming // *Frontiers in Animal Science*. 2021. Vol. 2. P. 650324. DOI: 10.3389/fanim.2021.650324. EDN: JGDIES.

3. Fernandez-Novo A., Pérez-Garnelo S.S., Villagrà A., et al. the effect of stress on reproduction and reproductive technologies in beef cattle – a review // *Animals*. 2020. Vol. 10. P. 2096. DOI: 10.3390/ani10112096. EDN: AIEBHH.
4. Fraser D. Understanding animal welfare // *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2008. Vol. 50, N 1. P. 1–7. DOI: 10.1186/1751-0147-50-S1-S1.
5. Carlstead K., Mench J.A., Meehan C., et al. An epidemiological approach to welfare research in zoos: the Elephant Welfare Project // *Journal of Applied Animal Welfare Science*. 2013. Vol. 16, N 4. P. 319–337. DOI: 10.1080/10888705.2013.827915.
6. Жучаев К.В., Кочнева М.Л., Борисенко Е.А.. Благополучие продуктивных животных (обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. 2024. Т. 59, № 6. С. 1025–1038. DOI: 10.15389/agrobiology.2024.6.1025rus. EDN: SLRYTR.
7. D’Occhio M.J., Baruselli P.S., Campanile G. Influence of nutrition, body condition, and metabolic status on reproduction in female beef cattle: A review // *Theriogenology*. 2019. Vol. 125. P. 277–284. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2018.11.010.
8. Rioja-Lang F.C., Connor M., Bacon H.J., et al. prioritization of farm animal welfare issues using expert consensus. *Front // Veterinary Sciences*. 2020. Vol. 6. P. 495. DOI: 10.3389/fvets.2019.00495. EDN: MVZWFY.
9. Richter S.H., Hintze S. From the individual to the population – and back again? Emphasising the role of the individual in animal welfare science // *Applied Animal Behaviour Science*. 2019. Vol. 212. P. 1–8. DOI: 10.1016/j.applanim.2018.12.012. EDN: UAXHDX.
10. Ксенофонтова А.А., Иванов А.А., Зудкова О.А., и др. Уровень благополучия как маркер этического отношения к продуктивным животным // *Известия ТСХА*. 2020. Вып. 2. С. 99–114. DOI: 10.26897/0021-342X-2020-2-99-115. EDN: KNWTLZ.
11. Czyszter L.T., Gavojdian D., Neamt R., et al. Effects of temperament on production and reproductive performances in Simmental dual-purpose cows // *Journal of Veterinary Behavior*. 2016. Vol. 15. P. 50–55. DOI: 10.1016/j.jveb.2016.08.070.
12. Mee J.F., Geraghty T., O’Neill R., et al. Bioexclusion of diseases from dairy and beef farms: Risks of introducing infectious agents and risk reduction strategies // *Veterinary Journal*. 2012. Vol. 194. P. 143–150. DOI: 10.1016/j.tvjl.2012.07.001.
13. Kumar B., Manuja A., Aich P. Stress and its impact on farm animals // *Frontiers in Bioscience*. 2012. Vol. 4, N 5. P. 1759–1767. DOI: 10.2741/e496.
14. De Almeida A.M., Zachut M., Hernández-Castellano L.E., et al. Biomarkers of fitness and welfare in dairy animals: healthy living // *Journal of Dairy Research*. 2019. Vol. 86. P. 379–387. DOI: 10.1017/S0022029919000803.
15. O’Doherty J.P., Cockburn J., Pauli W.M. Learning, reward, and decision making // *Annual Review of Psychology*. 2017. Vol. 68. P. 73–100. DOI: 10.1146/annurev-psych-010416-044216.
16. Appleby M., Olsson I., Galindo F. *Animal welfare*. 3rd ed. Wallingford: CAB International; 2018.
17. Babington S., Tilbrook A.J., Maloney S.K., et al. Finding biomarkers of experience in animals // *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2024. Vol. 15. P. 28. DOI: 10.1186/s40104-023-00989-z.
18. Titterton F.M., Knox R., Morrison S.J., et al. Behavioural traits in *Bos taurus* cattle, their heritability, potential genetic markers, and associations with production traits // *Animals*. 2022. Vol. 12. P. 2602. DOI: 10.3390/ani12192602. EDN: DYOQAI.
19. Friedrich J., Brand B., Graunke K., et al. Adrenocortical Expression Profiling of Cattle with Distinct Juvenile Temperament Types // *Behav. Genet*. 2017. Vol. 47. P. 102–113. DOI: 10.1007/s10519-016-9816-0.
20. Hedlund L., Lovlie H. Personality and production: Nervous cows produce less milk // *Journal of Dairy Science*. 2015. Vol. 98. P. 5819–5828. DOI: 10.3168/jds.2014-8667.
21. Cooke R., Schubach K., Marques R., et al. Effects of temperament on physiological, productive, and reproductive responses in *Bos indicus* beef cows // *Journal of Animal Science*. 2017. Vol. 95. P. 1–8. DOI: 10.2527/jas.2016.1098.

22. Szymik B., Topolski P., Jagusiak W. Genetic parameters of workability traits in the population of polish Holstein-Fresian Cows based on conventional and genomic data // *Animals*. 2021. Vol. 11. P. 2443. DOI: 10.3390/ani11082443.
23. Haskell M.J., Simm G., Turner S.P. Genetic selection for temperament traits in dairy and beef cattle // *Frontiers in Genetics*. 2014. Vol. 5. P. 368. DOI: 10.3389/fgene.2014.00368.
24. Lee C., Café L.M., Robinson S.L., et al. Anxiety influences attention bias but not flight speed and crush score in beef cattle // *Applied Animal Behaviour Science*. 2018. Vol. 205. P. 201–215. DOI: 10.1016/j.applanim.2017.11.003.
25. Golovan V.T., Osepchuk D.V., Yurin D.A. Effect of nervous activities on milk flow process in cows // *Journal of Livestock Science*. 2022. Vol. 13. P. 25–32. DOI: 10.33259/JLivistSci.2022.25-32.
26. Golovan V.T., Yurin D.A., Gneush A.N., et al. Study of the influence of the type of higher nervous activity on the secretion of organic components of milk // *Food Science and Applied Biotechnology*. 2023. Vol. 6, N 1. P. 25–37. DOI: 10.30721/fsab2023.v6.i1.239.
27. Costilla R., Kemper K.E., Byrne E.M., et al. Genetic control of temperament traits across species: association of autism spectrum disorder risk genes with cattle temperament // *Genetics Selection Evolution*. 2020. Vol. 52, N 1. P. 5. DOI: 10.1186/s12711-020-00569-z.
28. Marçal-Pedroza M.G., Campos M.M., Pereira L.G.R., et al. Consistency of temperamental traits and their relationship with milk yield in lactating primiparous F1 Holstein-Gyr cows // *Applied Animal Behaviour Science*. 2020. Vol. 222. P. 104881. DOI: 10.1016/j.animal.2021.100224-1751-7311. EDN: BZLEID.
29. Marçal-Pedroza M.G., Campos M.M., Sacramento J.P., et al. Are dairy cows with a more reactive temperament less efficient in energetic metabolism and do they produce more enteric methane? // *Animal*. 2021. Vol. 15, N 6. P. 100224. DOI: 10.1016/j.animal.2021.100224. EDN: XBOUYZ.
30. Moura S.V. de; Silveira I.D.B., Ferreira O.G.L., et al. Lairage periods on temperament score and meat quality of beef cattle // *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2021. Vol. 56. P. 02349. DOI: 10.1590/1678-3921.pab2021.v56.02349. EDN: SVLMLK.
31. Marcondes C.R., Souza V.A.F. de, Bugner A.L.P., et al. Different evaluation methods of Canchim cattle temperament // *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2023. Vol. 58. P. 03350. DOI: DOI: 10.1590/S 1678-3921.pab2023.v58.03350.
32. Gibbons J.M., Lawrence A.B., Haskell M.J. Consistency of flight speed and response to restraint in a crush in dairy cattle // *Applied Animal Behaviour Science*. 2011. Vol. 131. P. 15–20. DOI: 10.1016/j.applanim.2011.01.009.
33. Brandão A.P., Cooke R.F. Effects of Temperament on the Reproduction of Beef Cattle // *Animals*. 2021. Vol. 11. P. 3325. DOI: 10.3390/ani11113325. EDN: BYDGJC.
34. Lees A.M., Salvin H.E., Colditz I.G., et al. The Influence of Temperament on Body Temperature Response to Handling in Angus Cattle // *Animals*. 2020. Vol. 10. P. 172. DOI: 10.3390/ani10010172. EDN: QEMVBR.
35. Danchuk O.V., Karposvkii V.I., Tomchuk V.A., et al. Temperament in Cattle: A Method of Evaluation and Main Characteristics // *Neurophysiology*. 2020. Vol. 52, N 1. DOI: 10.1007/s11062-020-09853-6. EDN: IINNDM.
36. Linstädt J., Thöne-Reineke C., Merle R. Animal-based welfare indicators for dairy cows and their validity and practicality: a systematic review of the existing literature // *Frontiers in Veterinary Science*. 2024. Vol. 11. P. 1429097. DOI: 10.3389/fvets.2024.1429097. EDN: TNAXPK.
37. Tilbrook A.J., Ralph C.R. Hormones, stress and the welfare of animals // *Animal Production Science*. 2018. Vol. 58. P. 408–415. DOI: 10.1071/AN16808.
38. Tilbrook A.J., Ralph C.R. Neurophysiological assessment of animal welfare // *Animal Production Science*. 2017. Vol. 57. P. 2370-2375. DOI: 10.1071/AN17312.
39. Шошин Д.Е., Ерофеев Н.Г., Сизова Е.А., и др. Стресс как лимитирующий фактор в животноводстве (обзор) // *Животноводство и кормопроизводство*. 2024. Т. 107, № 3. С. 138–162. DOI: 10.33284/2658-3135-107-3-138. EDN: IVEMAW.

40. Karlova L., Lesnovska O., Mylostyvyi R. Influence of the type of nervous activity on the milk production of cows. 2020. P. 176–194. DOI: 10.30525/978-9934-26-001-8-35.
41. Jamilah I.M., Darsono A., Fathurrahman I., et al. Animal Welfare As Stress Management to Improve Beef Cattle Reproduction. In: The UGM Annual Scientific Conference Life Sciences, KnE Life Sciences. 2019. P. 200–215. DOI: 10.18502/kls.v4i11.3866.
42. Morgan L., Raz T. Providing meaningful environmental enrichment and measuring saliva cortisol in pigs housed on slatted flooring // *J. Vis. Exp.* 2019. Vol. 151. P. 60070. DOI: 10.3791/60070.
43. Heimbürge S., Kanitz E., Tuchscherer A., et al. Is it getting in the hair? – cortisol concentrations in native, regrown and segmented hairs of cattle and pigs after repeated ACTH administrations // *General and Comparative Endocrinology*. 2020. Vol. 295. P. 113534. DOI: 10.1016/j.ygcen.2020.113534. EDN: ZTOFBR.
44. Heimbürge S., Kanitz E., Otten W. The use of hair cortisol for the assessment of stress in animals // *General and Comparative Endocrinology*. 2019. Vol. 270. P. 10–17. DOI: 10.1016/j.ygcen.2018.09.016.
45. Kovács L., Kézér F.L., Kulcsár-Huszenicza M., et al. Hypothalamic-pituitary-adrenal and cardiac autonomic responses to transrectal examination differ with behavioral reactivity in dairy cows // *J. Dairy Sci.* 2016. Vol. 99, N 9. P. 7444–7457. DOI:10.3168/jds.2015–10454.
46. Gygax L., Neuffer I., Kaufmann C., et al. Milk cortisol concentration in automatic milking systems compared with auto-tandem milking parlors // *Journal of Dairy Science*. 2006. Vol. 89. P. 3447–3454. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72382-7.
47. Marcal-Pedroza M.G., Campos M.M., Martins M.F., et al. Is the temperament of crossbred dairy cows related to milk cortisol and oxytocin concentrations, milk yield, and quality? // *PLoS ONE*. 2023. Vol. 18, N 6. P. 0286466. DOI: 10.1371/journal.pone.0286466.
48. Poscic N., Gabai G., Stefanon B., et al. Milk cortisol response to group relocation in lactating cows // *Journal of Dairy Research*. 2017. Vol. 84. P. 36–38. DOI: 10.1017/S0022029916000790. EDN: CJTEDA.
49. Niedzielska E., Smaga I., Gawlik M., et al. Oxidative stress in neurodegenerative diseases // *Molecular Neurobiology*. 2016. Vol. 53. P. 4094–4125. DOI: 10.1007/s12035-015-9337-5. EDN: CJTEDA.
50. Rubio C.P., Contreras-Aguilar M.D., Quiles A., et al. Biomarkers of oxidative stress in saliva of sheep: analytical performance and changes after an experimentally induced stress // *Research in Veterinary Science*. 2019. Vol. 123. P. 71–76. DOI: 10.1016/j.rvsc.2018.12.015. EDN: CJTEDA.
51. Apak R. Current issues in antioxidant measurement // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019. Vol. 67. P. 9187–9202. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b03657.
52. Киреев И.В., Оробец В.А. Антиоксидантный статус крупного рогатого скота Абердин-ангусской породы // *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*. 2023. № 3 (59). С. 3–6. DOI: 10.24412/2074-5036-2023-3-3-6. EDN: KGHAXT.
53. Zachut M., Kra G., Portnik Y., et al. Milk glucose-6-phosphate dehydrogenase activity and glucose-6-phosphate are associated with oxidative stress and serve as indicators of energy balance in dairy cows // *Royal Society of Chemistry Advances*. 2016. Vol. 6. P. 65412–65417. DOI: 10.1039/c6ra11924g.
54. Zachut M., Kra G., Livshitz L., et al. Seasonal heat stress affects adipose tissue proteome toward enrichment of the Nrf2-mediated oxidative stress response in late-pregnant dairy cows // *Journal of Proteomics*. 2017. Vol. 158. P. 52–61. DOI: 10.1016/j.jprot.2017.02.011.
55. LeBlanc S.J., Leslie K.E., Duffield T.F. Metabolic predictors of displaced abomasum in dairy cattle // *Journal of Dairy Science*. 2005. Vol. 88. P. 159–170. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72674-6.
56. Ingvarsten K.L. Feeding- and management-related diseases in the transition cow: Physiological adaptations around calving and strategies to reduce feeding-related diseases // *Animal Feed Science and Technology*. 2006. Vol. 126. P. 175–213. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2005.08.003.
57. Piechotta M., Sander A.K., Kastelic J.P., et al. Short communication: prepartum plasma insulin-like growth factor-I concentrations based on day of insemination are lower in cows developing postpartum diseases // *Journal of Dairy Science*. 2012. Vol. 95. P. 1367–1370. DOI: 10.3168/jds.2011-4622.

58. McArt J.A.A., Nydam D.V., Oetzel G.R., et al. Elevated non-esterified fatty acids and  $\beta$ -hydroxybutyrate and their association with transition dairy cow performance // *The Veterinary Journal*. 2013. Vol. 198. P. 560–570. DOI: 10.1016/j.tvjl.2013.08.011.
59. Ospina P.A., McArt J.A., Overton T.R., et al. Using Nonesterified fatty acids and  $\beta$ -hydroxybutyrate concentrations during the transition period for herd-level monitoring of increased risk of disease and decreased reproductive and milking performance // *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2013. Vol. 29. P. 387–412. DOI: 10.1016/j.cvfa.2013.04.003.
60. Duffield T.F., Lissemore K.D., McBride B.W., et al. Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production // *Journal of Dairy Science*. 2009. Vol. 92. P. 571–580. DOI: 10.3168/jds.2008-1507.
61. Ospina P.A., Nydam D.V., Stokol T., et al. Association between the proportion of sampled transition cows with increased nonesterified fatty acids and  $\beta$ -hydroxybutyrate and disease incidence, pregnancy rate, and milk production at the herd level // *Journal of Dairy Science*. 2010. Vol. 93. P. 3595–3601. DOI: 10.3168/jds.2010-3074. EDN: NZKBHD.
62. Chapinal N., LeBlanc S.J., Carson M.E., et al. Herd-level association of serum metabolites in the transition period with disease, milk production, and early lactation reproductive performance // *Journal of Dairy Science*. 2012. Vol. 95. P. 5676–5682. DOI: 10.3168/jds.2011-5132.
63. Moyes K.M., Larsen T., Friggens N.C., et al. Identification of potential markers in blood for the development of subclinical and clinical mastitis in dairy cattle at parturition and during early lactation // *Journal of Dairy Science*. 2009. Vol. 92. P. 5419–5428. DOI: 10.3168/jds.2009-2088.
64. Ewaschuk J.B., Naylor J.M., Zello G.A. D-lactate in human and ruminant metabolism // *Journal of Nutrition*. 2005. Vol. 135. P. 1619–1625. DOI: 10.1093/jn/135.7.1619.
65. Larsen T. Fluorometric determination of D-lactate in biological fluids // *Analytical Biochemistry*. 2017. Vol. 539. P. 152–157. DOI: 10.1016/j.ab.2017.10.026.
66. Larsen T., Moyes K.M. Are free glucose and glucose-6-phosphate in milk indicators of specific physiological states in the cow? // *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*. 2015. Vol. 9. P. 86–93. DOI: 10.1017/S175173111400204.
67. Larsen T. Fluorometric determination of free and total isocitrate in bovine milk // *Journal of Dairy Science*. 2014. Vol. 7. P. 7498–7504. DOI: 10.3168/jds.2014-8018.
68. Nielsen N.I., Friggens N.C., Chagunda M.G.G., et al. Predicting risk of ketosis in dairy cows using in-line measurements of beta-hydroxybutyrate: a biological model // *Journal of Dairy Science*. 2005. Vol. 88. P. 2441–2453. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72922-2.
69. Gross J., van Dorland H.A., Bruckmaier R.M., et al. Milk fatty acid profile related to energy balance in dairy cows // *Journal of Dairy Research*. 2011. Vol. 8. P. 479–488. DOI: 10.1017/S0022029911000550.
70. Knegsel A.T.M. van, Brand H. van den, Dijkstra J., et al. Effect of dietary energy source on energy balance, production, metabolic disorders and reproduction in lactating dairy cattle // *Reproduction Nutrition Development*. 2005. Vol. 45. P. 665–688. DOI: 10.1051/rnd:2005059.
71. Adelman J.S., Estes Z., Cossu M. Emotional sound symbolism: languages rapidly signal valence via phonemes // *Cognition*. 2018. Vol. 175. P. 122–130. DOI: 10.1016/j.cognition.2018.02.007.
72. Laurijs K.A., Briefer E.F., Reimert I., et al. Vocalisations in farm animals: a step towards positive welfare assessment // *Applied Animal Behaviour Science*. 2021. Vol. 236. P. 105264. DOI: 10.1016/j.applanim.2021.105264.

## References

1. Mincu M, Gavojdian D, Nicolae I, et al. Effects of milking temperament of dairy cows on production and reproduction efficiency under tied stall housing. *Journal of Veterinary Behavior*. 2021;(44):12-17. DOI: 10.1016/j.jveb.2021.05.010. EDN: UWUZDU.
2. Rosa GJM. Grand Challenge in Precision Livestock Farming. *Frontiers in Animal Science*. 2021;(2):650324. DOI: 10.3389/fanim.2021.650324. EDN: JGDIES.

3. Fernandez-Novo A, Pérez-Garnelo SS, Villagrà A, et al. The effect of stress on reproduction and reproductive technologies in beef cattle – a review. *Animals*. 2020;(10):2096. DOI: 10.3390/ani10112096. EDN: AIEBHH.
4. Fraser D. Understanding animal welfare. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2008;50(1):1-7. DOI: 10.1186/1751-0147-50-S1-S1.
5. Carlstead K, Mench JA, Meehan C, et al. An epidemiological approach to welfare research in zoos: the Elephant Welfare Project. *Journal of Applied Animal Welfare Science*. 2013;16(4):319-337. DOI: 10.1080/10888705.2013.827915.
6. Zhuchayev KV, Kochneva ML, Borisenko EA. Welfare of productive animals (review). *Agricultural Biology*. 2024;59(6):1025-1038. (In Russ.). DOI: 10.15389/agrobiology.2024.6.1025rus. EDN: SLRYTR.
7. D'Occhio MJ, Baruselli PS, Campanile G. Influence of nutrition, body condition, and metabolic status on reproduction in female beef cattle: A review. *Theriogenology*. 2019;125:277-284. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2018.11.010.
8. Rioja-Lang FC, Connor M, Bacon HJ, et al. Prioritization of farm animal welfare issues using expert consensus. *Front. Veterinary Sciences*. 2020;6:495. DOI: 10.3389/fvets.2019.00495. EDN: MVZWFY.
9. Richter SH, Hintze S. From the individual to the population – and back again? Emphasising the role of the individual in animal welfare science. *Applied Animal Behaviour Science*. 2019;(212):1-8. DOI:10.1016/j.applanim.2018.12.012. EDN: UAXHDX.
10. Ksenofontova AA, Ivanov AA, Zudkova OA, et al. Welfare standard as a marker of ethical relation to productive animals. *Isvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2020;2:99-114. (In Russ.). DOI: 10.26897/0021-342X-2020-2-99-115. EDN: KNWTLZ.
11. Csiszter LT, Gavojdian D, Neamt R, et al. Effects of temperament on production and reproductive performances in Simmental dual-purpose cows. *Journal of Veterinary Behavior*. 2016;(15):50-55. DOI: 10.1016/j.jveb.2016.08.070.
12. Mee JF, Geraghty T, O'Neill R, et al. Bioexclusion of diseases from dairy and beef farms: Risks of introducing infectious agents and risk reduction strategies. *Veterinary Journal*. 2012;(194):143-150. DOI: 10.1016/j.tvjl.2012.07.001.
13. Kumar B, Manuja A, Aich P. Stress and its impact on farm animals. *Frontiers in Bioscience*. 2012;4(5):1759-1767. DOI: 10.2741/e496.
14. De Almeida AM, Zachut M, Hernández-Castellano LE, et al. Biomarkers of fitness and welfare in dairy animals: healthy living. *Journal of Dairy Research*. 2019;(86):379-387. DOI: 10.1017/S0022029919000803.
15. O'Doherty JP, Cockburn J, Pauli WM. Learning, reward, and decision making. *Annual Review of Psychology*. 2017;(68):73-100. DOI: 10.1146/annurev-psych-010416-044216.
16. Appleby M, Olsson I, Galindo F. *Animal welfare*. 3rd ed. Wallingford: CAB International; 2018.
17. Babington S, Tilbrook AJ, Maloney SK, et al. Finding biomarkers of experience in animals. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2024;(15):28. DOI: 10.1186/s40104-023-00989-z.
18. Tittergton FM, Knox R, Morrison SJ, et al. Behavioural traits in *Bos taurus* cattle, their heritability, potential genetic markers, and associations with production traits. *Animals*. 2022;(12):2602. DOI: 10.3390/ani12192602. EDN: DYOQAI.
19. Friedrich J, Brand B, Graunke K, et al. Adrenocortical Expression Profiling of Cattle with Distinct Juvenile Temperament Types. *Genetics*. 2017;(47):102-113. DOI: 10.1007/s10519-016-9816-0.
20. Hedlund L, Lovlie H. Personality and production: Nervous cows produce less milk. *Journal of Dairy Science*. 2015;(98):5819-5828. DOI: 10.3168/jds.2014-8667.
21. Cooke R, Schubach K, Marques R, et al. Effects of temperament on physiological, productive, and reproductive responses in *Bos indicus* beef cows. *Journal of Animal Science*. 2017;(95):1-8. DOI: 10.2527/jas.2016.1098.
22. Szymik B, Topolski P, Jagusiak W. Genetic parameters of workability traits in the population of polish Holstein-Friesian Cows based on conventional and genomic data. *Animals*. 2021;(11):2443. DOI: 10.3390/ani11082443.

23. Haskell MJ, Simm G, Turner SP. Genetic selection for temperament traits in dairy and beef cattle. *Frontiers in Genetics*. 2014;(5):368. DOI: 10.3389/fgene.2014.00368.
24. Lee C, Café LM, Robinson SL, et al. Anxiety influences attention bias but not flight speed and crush score in beef cattle. *Applied Animal Behaviour Science*. 2018;(205):201-215. DOI: 10.1016/j.applanim.2017.11.003.
25. Golovan VT, Osepchuk DV, Yurin DA. Effect of nervous activities on milk flow process in cows. *Journal of Livestock Science*. 2022;(13):25-32. DOI: 10.33259/JLivestSci.2022.25-32.
26. Golovan VT, Yurin DA, Gneush AN, et al. Study of the influence of the type of higher nervous activity on the secretion of organic components of milk. *Food Science and Applied Biotechnology*. 2023; 6(1):25-37. DOI: 10.30721/fsab2023.v6.i1.239.
27. Costilla R, Kemper KE, Byrne EM, et al. Genetic control of temperament traits across species: association of autism spectrum disorder risk genes with cattle temperament. *Genetics Selection Evolution*. 2020;(52(1)):5. DOI: 10.1186/s12711-020-00569-z.
28. Marçal-Pedroza MG, Campos MM, Pereira LGR, et al. Consistency of temperamental traits and their relationship with milk yield in lactating primiparous F1 Holstein-Gyr cows. *Applied Animal Behaviour Science*. 2020;(222):104881. DOI: 10.1016/j.animal.2021.1002241751-7311. EDN: BZLEID.
29. Marçal-Pedroza MG, Campos MM, Sacramento JP, et al. Are dairy cows with a more reactive temperament less efficient in energetic metabolism and do they produce more enteric methane? *Animal*. 2021;(15(6)):100224. DOI: 10.1016/j.animal.2021.100224. EDN: XBOUYZ.
30. Moura SV de; Silveira IDB, Ferreira OGL, et al. Lairage periods on temperament score and meat quality of beef cattle. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2021;(56):02349. 2021. DOI: 10.1590/s1678-3921.pab2021.v56.02349. EDN: SVLMLK.
31. Marcondes CR, Souza VAF de; Bugner ALP, et al. Different evaluation methods of Canchim cattle temperament. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2023;(58):03350. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2023.v58.03350.
32. Gibbons JM, Lawrence AB and Haskell MJ. Consistency of flight speed and response to restraint in a crush in dairy cattle. *Applied Animal Behaviour Science*. 2011;(131):15-20. DOI: 10.1016/j.applanim.2011.01.009.
33. Brandão AP, Cooke RF. Effects of Temperament on the Reproduction of Beef Cattle. *Animals*. 2021;(11):3325. DOI: 10.3390/ani11113325. EDN: BYDGJC.
34. Lees AM, Salvin HE, Colditz IG, et al. The Influence of Temperament on Body Temperature Response to Handling in Angus Cattle. *Animals*. 2020;(10):172. DOI: 10.3390/ani10010172. EDN: QEMVBR.
35. Danchuk OV, Karposvkii VI, Tomchuk VA, et al. Temperament in Cattle: A Method of Evaluation and Main Characteristics. *Neurophysiology*. 2020;52(1). DOI: 10.1007/s11062-020-09853-6. EDN: IINNDM.
36. Linstädt J, Thöne-Reineke C, Merle R. Animal-based welfare indicators for dairy cows and their validity and practicality: a systematic review of the existing literature. *Frontiers in Veterinary Science*. 2024;(11):1429097. DOI: 10.3389/fvets.2024.1429097. EDN: TNAXPK.
37. Tilbrook AJ, Ralph CR. Hormones, stress and the welfare of animals. *Animal Production Science*. 2018;(58):408-15. DOI: 10.1071/AN16808.
38. Tilbrook AJ, Ralph CR. Neurophysiological assessment of animal welfare. *Animal Production Science*. 2017;(57):2370-2375. DOI: 10.1071/AN17312.
39. Shoshin DE, Erofeev NG, Sizova EA, et al. Stress as a limiting factor in animal husbandry (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(3):138-162. (In Russ.). DOI: 10.33284/2658-3135-107-3-138. EDN: IVEMAW.
40. Karlova L, Lesnovska O, Mylostyvyi R. Influence of the type of nervous activity on the milk production of cows. 2020;176-194. DOI: 10.30525/978-9934-26-001-8-35.
41. Jamilah IM, Darsono A, Fathurrahman I, et al. Animal Welfare As Stress Management to Improve Beef Cattle Reproduction. In: *The UGM Annual Scientific Conference Life Sciences, KnE Life Sciences*. 2019. P. 200–215. DOI: 10.18502/kls.v4i11.3866.

42. Morgan L, Raz T. Providing meaningful environmental enrichment and measuring saliva cortisol in pigs housed on slatted flooring. *J. Vis. Exp.* 2019;(151):e60070. DOI: 10.3791/60070.
43. Heimbürge S, Kanitz E, Tuchscherer A, et al. Is it getting in the hair? – cortisol concentrations in native, regrown and segmented hairs of cattle and pigs after repeated ACTH administrations. *General and Comparative Endocrinology*. 2020;(295):113534. DOI: 10.1016/j.ygcen.2020.113534. EDN: ZTOFBR.
44. Heimbürge S, Kanitz E, Otten W. The use of hair cortisol for the assessment of stress in animals. *General and Comparative Endocrinology*. 2019;(270):10-17. DOI: 10.1016/j.ygcen.2018.09.016.
45. Kovács L, Kézér FL, Kulcsár-Huszenicza M, et al. Hypothalamic-pituitary-adrenal and cardiac autonomic responses to transrectal examination differ with behavioral reactivity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2016;(99(9)):7444-7457. DOI: 10.3168/jds.2015-10454.
46. Gygax L, Neuffer I, Kaufmann C, et al. Milk cortisol concentration in automatic milking systems compared with auto-tandem milking parlors. *J. Dairy Sci.* 2006;(89):3447-3454. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72382-7.
47. Marcal-Pedroza MG, Campos MM, Martins MF, et al. Is the temperament of crossbred dairy cows related to milk cortisol and oxytocin concentrations, milk yield, and quality? *PLoS ONE*. 2023;(18(6)):e0286466. DOI: 10.1371/journal.pone.0286466.
48. Poscic N, Gabai G, Stefanon B, et al. Milk cortisol response to group relocation in lactating cows. *Journal of Dairy Research*. 2017;(84):36-38. DOI: 10.1017/S0022029916000790. EDN: CJTEDA.
49. Niedzielska E, Smaga I, Gawlik M, et al. Oxidative stress in neurodegenerative diseases. *Molecular Neurobiology*. 2016;(53):4094-4125. DOI: 10.1007/s12035-015-9337-5. EDN: CJTEDA.
50. Rubio CP, Contreras-Aguilar MD, Quiles A, et al. Biomarkers of oxidative stress in saliva of sheep: analytical performance and changes after an experimentally induced stress. *Research in Veterinary Science*. 2019;(123):71-76. DOI:10.1016/j.rvsc.2018.12.015. EDN: CJTEDA.
51. Apak R. Current issues in antioxidant measurement. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019;(67):9187-202. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b03657.
52. Kireev IV, Orobets VA. Antioxidant status of aberdeen angus cattle. *Actual Questions of Veterinary Biology*. 2023;3(59):3-6. (In Russ.). DOI: 10.24412/2074-5036-2023-3-3-6. EDN: KGHAXT.
53. Zachut M, Kra G, Portnik Y, et al. Milk glucose-6-phosphate dehydrogenase activity and glucose-6-phosphate are associated with oxidative stress and serve as indicators of energy balance in dairy cows. *Royal Society of Chemistry Advances*. 2016;6:65412-65417. DOI: 10.1039/c6ra11924g.
54. Zachut M, Kra G, Livshitz L, et al. Seasonal heat stress affects adipose tissue proteome toward enrichment of the Nrf2-mediated oxidative stress response in late-pregnant dairy cows. *Journal of Proteomics*. 2017;158:52-61. DOI: 10.1016/j.jprot.2017.02.011.
55. LeBlanc SJ, Leslie KE, Duffield TF. Metabolic predictors of displaced abomasum in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2005;88:159-170. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72674-6.
56. Ingvarstsen KL. Feeding- and management-related diseases in the transition cow: Physiological adaptations around calving and strategies to reduce feeding-related diseases. *Animal Feed Science and Technology*. 2006;126:175-213. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2005.08.003.
57. Piechotta M, Sander AK, Kastelic JP, et al. Short communication: prepartum plasma insulin-like growth factor-I concentrations based on day of insemination are lower in cows developing postpartum diseases. *Journal of Dairy Science*. 2012;95:1367-1370. DOI: 10.3168/jds.2011-4622.
58. McArt JAA, Nydam DV, Oetzel GR, et al. Elevated non-esterified fatty acids and  $\beta$ -hydroxybutyrate and their association with transition dairy cow performance. *The Veterinary Journal*. 2013;198:560-570. DOI: 10.1016/j.tvjl.2013.08.011.
59. Ospina PA, McArt JA, Overton TR, et al. Using Nonesterified fatty acids and  $\beta$ -hydroxybutyrate concentrations during the transition period for herd-level monitoring of increased risk of disease and decreased reproductive and milking performance. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2013;29:387-412. DOI: 10.1016/j.cvfa.2013.04.003.
60. Duffield TF, Lissemore KD, McBride BW, et al. Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *Journal of Dairy Science*. 2009;92:571-580. DOI: 10.3168/jds.2008-1507.

61. Ospina PA, Nydam DV, Stokol T, et al. Association between the proportion of sampled transition cows with increased nonesterified fatty acids and  $\beta$ -hydroxybutyrate and disease incidence, pregnancy rate, and milk production at the herd level. *Journal of Dairy Science*. 2010;93:3595-3601. DOI: 10.3168/jds.2010-3074. EDN: NZKBHD.
62. Chapinal N, LeBlanc SJ, Carson ME, et al. Herd-level association of serum metabolites in the transition period with disease, milk production, and early lactation reproductive performance. *Journal of Dairy Science*. 2012;95:5676-5682. DOI: 10.3168/jds.2011-5132.
63. Moyes KM, Larsen T, Friggens NC, et al. Identification of potential markers in blood for the development of subclinical and clinical mastitis in dairy cattle at parturition and during early lactation. *Journal of Dairy Science*. 2009;92:5419-5428. DOI: 10.3168/jds.2009-2088.
64. Ewaschuk JB, Naylor JM and Zello GA. D-lactate in human and ruminant metabolism. *Journal of Nutrition*. 2005;135:1619-1625. DOI: 10.1093/jn/135.7.1619.
65. Larsen T. Fluorometric determination of D-lactate in biological fluids. *Analytical Biochemistry*. 2017;539:152-157. DOI: 10.1016/j.ab.2017.10.026.
66. Larsen T and Moyes KM. Are free glucose and glucose-6-phosphate in milk indicators of specific physiological states in the cow? *Animal: An International Journal of Animal Bioscience*. 2015;9:86-93. DOI: 10.1017/S175173111400204.
67. Larsen T. Fluorometric determination of free and total isocitrate in bovine milk. *Journal of Dairy Science*. 2014;97:7498-7504. DOI: 10.3168/jds.2014-8018.
68. Nielsen NI, Friggens NC, Chagunda MGG, et al. Predicting risk of ketosis in dairy cows using in-line measurements of beta-hydroxybutyrate: a biological model. *Journal of Dairy Science*. 2005;88:2441-2453. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72922-2
69. Gross J, van Dorland HA, Bruckmaier RM, et al. Milk fatty acid profile related to energy balance in dairy cows. *Journal of Dairy Research*. 2011;78:479-488. DOI: 10.1017/S0022029911000550.
70. van Knegsel ATM., van den Brand H, Dijkstra J, et al. Effect of dietary energy source on energy balance, production, metabolic disorders and reproduction in lactating dairy cattle. *Reproduction Nutrition Development*. 2005;45:665-688. DOI: 10.1051/rnd:2005059.
71. Adelman JS, Estes Z, Cossu M. Emotional sound symbolism: languages rapidly signal valence via phonemes. *Cognition*. 2018;(175):122-30. DOI: 10.1016/j.cognition.2018.02.007.
72. Laurijs KA, Briefer EF, Reimert I, et al. Vocalisations in farm animals: a step towards positive welfare assessment. *Applied Animal Behaviour Science*. 2021;(236):105264. DOI: 10.1016/j.applanim.2021.105264.

Статья принята к публикации 24.06.2025 / The article accepted for publication 24.06.2025.

Информация об авторах:

**Инна Петровна Новгородова**, старший научный сотрудник, кандидат биологических наук

Information about the authors:

**Inna Petrovna Novgorodova**, Senior Researcher, Candidate of Biological Sciences

