

УДК 631.171

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-399-10-174-181

Ф.Е. Владимиров

А.Р. Хакимов

С.С. Юрочка

Д.Ю. Павкин

С.О. Базаев

Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Россия

✉ arty.hv@gmail.com

Поступила в редакцию: 19.05.2025

Одобрена после рецензирования: 13.09.2025

Принята к публикации: 28.09.2025

© Владимиров Ф.Е., Хакимов А.Р.,
Юрочка С.С., Павкин Д.Ю., Базаев С.О.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-399-10-174-181

Fedor E. Vladimirov

Artyom R. Khakimov

Sergey S. Yurochka

Dmitry Yu. Pavkin

Savr O. Bazaev

Federal Scientific Agroengineering
Center VIM, Moscow, Russia

✉ arty.hv@gmail.com

Received by the editorial office: 19.05.2025

Accepted in revised: 13.09.2025

Accepted for publication: 28.09.2025

© Vladimirov F.E., Khakimov A.R.,
Yurochka S.S., Pavkin D.Yu., Bazaev S.O.

Оценка эффективности мониторинга pH и руминации при контроле кормления коров

РЕЗЮМЕ

В исследовании сравниваются две технологии точного животноводства — ошейник SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) и рубцовый балюс «Агробиотест» (ООО «Агробиотест», Россия) — для мониторинга физиологического состояния молочных коров. Эксперимент проводили на 10 коровах голштинской породы на базе фермы КубГАУ. Рубцовый балюс продемонстрировал высокую точность (97,8%) в измерении pH рубца, что критически важно для оценки кислотности и здоровья ЖКТ. Ошейник SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) оказался более эффективным для отслеживания руминации (89,4%), что позволяет контролировать пищевое поведение. Комбинированное использование устройств повысило общую точность диагностики метаболического статуса коров до 98,5%, обеспечивая более полную картину состояния животных. Выявлена умеренная корреляция ($r = 0,73$) между активностью руминации и уровнем pH, что подтверждает взаимосвязь пищевого поведения и метаболических процессов. Исследование подтверждает, что интеграция данных от разных сенсоров (ошейников и балюсов) позволяет повысить эффективность ранней диагностики метаболических нарушений и оптимизировать рационы. Полученные результаты открывают перспективы для создания цифровых двойников животных, что способствует развитию точного животноводства.

Ключевые слова: молочные коровы, акселерометры, балюсы, ошейники для мониторинга, цифровое животноводство, классификация поведения

Для цитирования: Владимиров Ф.Е., Хакимов А.Р., Юрочка С.С., Павкин Д.Ю., Базаев С.О. Мониторинг pH и руминации для оптимизации кормления молочных коров: сравнительный анализ балюсов и ошейников с акселерометрами. *Аграрная наука*. 2025; 399(10): 174–181.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-174-181>

Evaluation of the effectiveness of pH and rumination monitoring in cow feeding control

ABSTRACT

The study compares two technologies of precision animal husbandry — the SCR Heatime collar (Allflex Livestock Intelligence, Israel) and the “Agrobiotest” bolus (“Agrobiotest” LLC, Russia) — for monitoring the physiological state of dairy cows. The experiment was conducted on 10 Holstein cows at the KubSAU farm. The cicatricial bolus demonstrated high accuracy (97.8%) in measuring the pH of the scar, which is critically important for assessing the acidity and health of the gastrointestinal tract. The SCR Heatime collar (Allflex Livestock Intelligence, Israel) proved to be more effective for tracking rumination (89.4%), which allows monitoring eating behavior. The combined use of the devices increased the overall accuracy of diagnosing the metabolic status of cows to 98.5%, providing a more complete picture of the animals' condition. A moderate correlation ($r = 0.73$) was found between the rumination activity and the pH level, which confirms the relationship between eating behavior and metabolic processes. The study confirms that the integration of data from different sensors (collars and boluses) makes it possible to increase the effectiveness of early diagnosis of metabolic disorders and optimize diets. The results obtained open up prospects for the creation of digital animal twins, which contributes to the development of precision animal husbandry.

Key words: dairy cows, accelerometers, boluses, monitoring collars, digital animal husbandry, behavior classification

For citation: Vladimirov F.E., Khakimov A.R., Yurochka S.S., Pavkin D.Yu., Bazaev S.O. Comparison of boluses and collars with accelerometers for monitoring the activity of dairy cows. *Agrarian science*. 2025; 399(10): 174–181 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-174-181>

Введение/Introduction

Современное молочное животноводство активно использует технологии точного животноводства (Precision Livestock Farming, PLF) для повышения продуктивности, оптимизации управления стадом и минимизации экономических и экологических затрат [1]. PLF включает автоматизированные системы мониторинга, которые собирают данные о физиологических и поведенческих параметрах животных в реальном времени, обеспечивая раннюю диагностику нарушений и корректировку производственных процессов [2].

Современный агропромышленный комплекс России обладает значительными резервами для повышения эффективности сельскохозяйственного производства [3–7]. Для реализации этого потенциала необходима системная модернизация технологической базы, предполагающая внедрение автоматизированных систем управления производственными процессами, цифровых платформ для мониторинга и анализа данных, интеллектуальных систем поддержки принятия решений на основе методов искусственного интеллекта [8].

Как показывают исследования, наблюдаемая трансформация АПК сопровождается последовательной цифровизацией основных производственных процессов и внедрением интеллектуальных систем поддержки принятия решений [9–12].

Одним из ключевых аспектов является контроль кормления и рационов, напрямую влияющих на здоровье рубца, продуктивность и общее благополучие коров [13–16].

Нарушения кислотно-щелочного баланса рубца, такие как субклинический ацидоз рубца (далее — СКАР), вызванные несбалансированными рационами с высоким содержанием концентратов, могут снижать надои и повышать риск метаболических заболеваний [17].

Для мониторинга состояния коров применяются различные устройства. Ошейники, такие как SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль), оснащенные трехосевыми акселерометрами, эффективно отслеживают руминацию и двигательную активность [18]. Данные о времени и интенсивности руминации коррелируют с потреблением сухого вещества и качеством корма, что позволяет оптимизировать состав рационов и выявлять отклонения в поведении [2]. Рубцовые болюсы (например, «Агробиотест», Россия) измеряют pH, температуру и моторику рубца, предоставляя уникальную информацию о состоянии пищеварительной системы. К примеру, снижение pH ниже 5,8 указывает на риск СКАР, что требует немедленной корректировки рациона [17]. В отличие от ошейников, болюсы обеспечивают прямой мониторинг внутренней среды, что делает их незаменимыми для диагностики метаболических нарушений [19].

Несмотря на широкое применение этих технологий, их сравнительная эффективность и

потенциал интеграции остаются недостаточно изученными. Ошейники и болюсы имеют разные принципы действия и точки приложения: первые фокусируются на внешнем поведении, вторые — на физиологических процессах [20].

Комбинированный подход, объединяющий данные руминации и pH, может повысить точность диагностики и способствовать созданию цифровых двойников — виртуальных моделей животных, интегрирующих многопараметрические данные для прогнозирования здоровья и продуктивности [21]. Такие модели, основанные на алгоритмах машинного обучения, позволяют фермерам принимать обоснованные решения, минимизируя риски и повышая эффективность производства.

Цифровые двойники животных представляют собой динамические модели, которые обновляются в реальном времени на основе данных от систем мониторинга, таких как ошейники и болюсы [22]. Эти устройства собирают информацию о руминации, pH рубца, температуре и двигательной активности, создавая основу для построения виртуальных копий [23]. Например, данные о снижении pH ниже 5,8, зафиксированные болюсом, могут быть использованы для моделирования риска СКАР, а информация о руминации от ошейника помогает прогнозировать потребление корма и корректировать рационы. Интеграция этих данных через машинное обучение позволяет создавать точные цифровые копии, которые отражают физиологическое состояние животного, предсказывают потенциальные проблемы и предлагают оптимальные решения для управления стадом [21].

Такой подход открывает новые возможности для автоматизации и повышения эффективности молочного производства.

Цели исследования — оценка эффективности ошейников и рубцовых болюсов в контроле кормления, изучение корреляции между руминацией и pH, а также разработка рекомендаций по интеграции данных для управления стадом.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперимент проводили на 10 коровах голштинской породы (1–2-й лактаций, средняя продуктивность 32 кг/день) с декабря 2024 г. по март 2025 г. на животноводческой ферме Кубанского государственного аграрного университета (КубГАУ, Краснодарский край, Россия).

Все коровы имели одинаковый физиологический статус, содержались в одной группе и получали унифицированный рацион, сбалансированный по питательным веществам для лактирующих коров, чтобы минимизировать вариабельность условий. Все процедуры, связанные с использованием животных в исследовании, были одобрены Этической комиссией Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агронженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия).

Исследование проводили в соответствии с международными нормами и руководящими принципами обращения с сельскохозяйственными животными¹.

Для оценки влияния разных типов рационов применяли: 1) высококонцентрированный рацион (60% концентратов); 2) высоковолокнистый рацион (30% концентратов) и 3) базовый (контрольный) рацион (40% концентратов).

Каждая корова была оснащена ошейником SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) с трехосевым акселерометром (частота дискредитации 10 Гц, RFID 134,2 кГц, беспроводная связь 2,4 ГГц) для регистрации движений головы и рубцовым болюсом «Агробиотест» (ООО «Агробиотест», Россия) с трехосевым акселерометром, датчиками температуры и pH (частота сбора данных 10 Гц, передача данных на 868 МГц) для мониторинга жвачки и моторики рубца.

Для оснащения животных ошейники надевали на шею (рис. 1а) с учетом комфорта коров, а болюсы вводили в рубец (рис. 1б) с помощью специального аппликатора под ветеринарным контролем.

Болюсы «Агробиотест» калибровались перед установкой с использованием буферных растворов pH 4,0 и 7,0 (рис. 2а), а также эталонного термометра для температуры. Для проверки точности измерения pH использовали эталонный pH-метр OHAUS Aquasearcher AB23PH-F, Ohaus Corp., США (рис. 2б).

Погрешность измерения pH составляет $\pm 0,2$ до 90 дней эксплуатации и $\pm 0,4$ до 150 дней эксплуатации. Ошейники SCR Heatime не требовали дополнительной калибровки в ходе эксперимента, так как их акселерометр калибруется производителем. Конструкция болюса разработана таким образом, чтобы предотвратить засорение датчика pH кормовыми массами в желудке, обеспечивая высокую точность измерений.

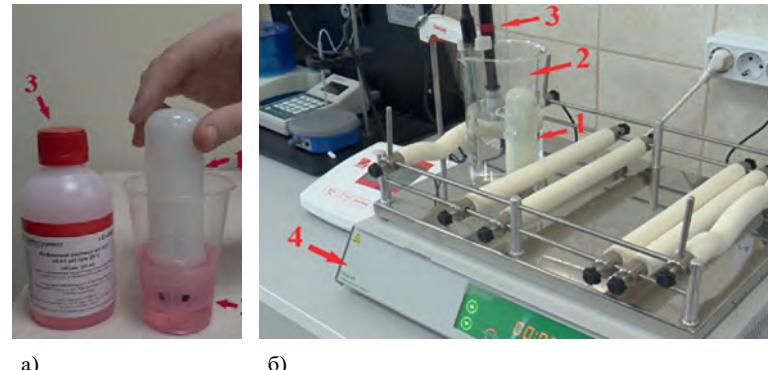
Эталонные данные с ошейников, а также данные с болюсов собирали непрерывно, синхронизировали по временным меткам с учетом часовых интервалов. Поведение животных (руминацию, кормление, отдых) наблюдал персонал в течение 10 часов ежедневно (с 08:00 до 18:00) на протяжении 120 дней для создания эталонного набора данных, что соответствует сервис-периоду. После того как устройства были установлены, данные с них передавали на локальный сервер фермы, где происходила предварительная обработка данных:

Рис. 1. Установка ошейников и имплантация болюсов
Fig. 1. Installation of collars and implantation of boluses



a) установка ошейников
b) имплантация болюса
a) installation of collars
b) bolus implantation

Рис. 2. Оборудование для проверки точности измерения датчиков pH и температуры: а) калибровка pH метра: 1 — болюс, 2 — пластиковая тара, 3 — калибровочный раствор; б) процесс исследования: 1 — болюс, 2 — измерительный шейкер «EKROS-6410»
Fig. 2. Equipment for verifying the accuracy of pH and temperature sensors: a) pH meter calibration: 1 — bolus, 2 — plastic container, 3 — calibration solution; b) testing process: 1 — bolus; 2 — measuring shaker "EKROS-6410"



a) б) a) b)

синхронизация временных меток, фильтрация шумов и сегментация сигналов. Болюсы «ООО «Агробиотест»» поддерживают автоматическую синхронизацию с программами управления стадом других производителей.

Для анализа применяли классификатор «случайного леса» (библиотека scikit-learn, Python) с расчетом метрик точности, прецизионности, полноты и F1-оценки с 10-кратной перекрестной проверкой.

Выбросы в данных обрабатывались на этапе предварительной обработки — фильтрация с использованием медианного фильтра и удаление значений за пределами 3σ от среднего. Это затрачивало менее 5% данных, обеспечивая чистоту набора для анализа.

Корреляцию между руминацией и pH оценивали с помощью коэффициента Пирсона, статистическую значимость различий определяли парным t-тестом с уровнем значимости $p < 0,05$.

Точность классификации рассчитывалась как:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN},$$

где TP — истинно положительные, TN — истинно отрицательные, FP — ложно положительные, FN — ложно отрицательные предсказания.

¹ Директива от 22.09.2010 № 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях.

F1-оценка определялась как:

$$F1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall},$$

где $Precision = TP / (TP + FP)$,
 $Recall = TP / (TP + FN)$.

Статистические различия между устройствами оценивали с помощью парного t-теста ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Для оценки согласованности между колебаниями значений руминации и pH коров были сравнены их колебания в двухчасовых диапазонах. Выявили, что во временном диапазоне от 8:00 до 14:00 у животных стабильно повышается pH. Одновременно с этим наблюдаются наибольшие колебания значений руминации. Во временном диапазоне с 16:00 по 20:00 наблюдается одновременное снижение pH и руминации животных.

Графическое изображение результатов представлено на рисунке 3.

Болюс «Агробиотест» (ООО «Агробиотест», Россия) продемонстрировал высокую точность в мониторинге pH рубца (97,8%), тогда как ошейник SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) показал точность 89,4% для оценки руминации, как показано в таблице 1.

Комбинированный подход, интегрирующий данные обоих устройств, повысил общую точность диагностики метаболического статуса коров (в частности, выявления риска СКАР) до 98,5%, подтверждая их взаимодополняющий характер.

Анализ данных показал, что среднее время руминации составило 445,5 мин/день, а средний pH рубца — 6,14 (табл. 2).

Эпизоды снижения pH ниже 5,8, указывающие на риск СКАР, наблюдали при высококонцентратном рационе (60% концентратов), снижая pH до 5,7 и руминацию до 420 мин/день, тогда как высоковолокнистый рацион (30% концентратов) повышал pH до 6,4 и руминацию до 480 мин/день (табл. 3).

Динамика pH и руминации за сутки представлена на рисунке 4, где видно, что снижение pH ниже 6,0 часто совпадало с уменьшением руминации (< 20 мин/час), особенно после кормления кормосмесью с высоким содержанием концентратов.

Сопоставление данных проводили для 10 коров, выбирая значения pH от болюса за каждый час (например, 08:00, 09:00) и соответствующие значения руминации от ошейника за тот же час. Пример: для коровы 1 в 08:00 pH составил 6,2, руминация — 30 мин/час; в 12:00 pH снизился до 5,8, руминация — 10 мин/час. Коэффициент

Рис. 3. Сравнение динамики между колебаниями значений руминации и pH коров

Fig. 3. Comparison of dynamics between fluctuations in rumination and pH values of cows

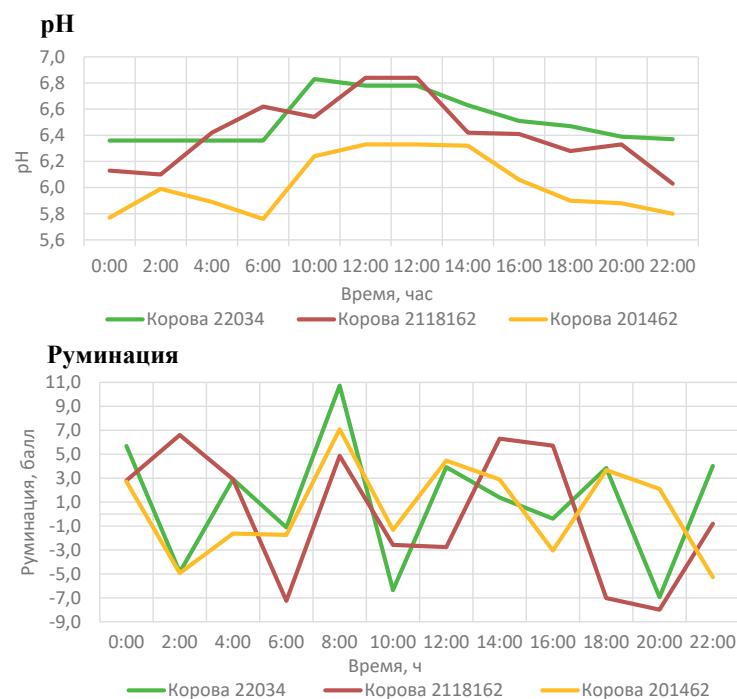


Таблица 1. Сравнение точности мониторинга руминации ошейником SCR Heatime и болюсом «Агробиотест»

Table 1. Comparison of the accuracy of rumination monitoring with the SCR Heatime collar and the “Agrobiotest” bolus

Метрика	Ошейник SCR Heatime, %	Болюс «Агробиотест», %	Комбинированный подход, %
Точность	89,4	97,8	98,5
Прецизионность	88,0	96,5	97,2
Полнота	90,2	98,0	98,8
F1-оценка	89,1	97,2	98,0

Примечание: данные основаны на анализе классификатора случайного леса с 10-кратной перекрестной проверкой.

Таблица 2. Усредненные данные руминации и pH

Table 2. Average rumination and pH data

Корова	Среднее время руминации, мин/день	Средний pH рубца	Коэффициент корреляции Пирсона
1	450	6,2	0,75
2	430	6,0	0,68
3	460	6,3	0,80
4	440	6,1	0,72
5	455	6,2	0,78
6	425	5,9	0,65
7	465	6,4	0,82
8	435	6,0	0,70
9	450	6,2	0,76
10	445	6,1	0,73
Среднее	445,5	6,14	0,74

Примечание: данные руминации и pH усреднены по часовым интервалам. Корреляция рассчитана для каждого животного с учетом синхронизированных временных меток.

Таблица 3. Влияние рационов на pH и руминацию

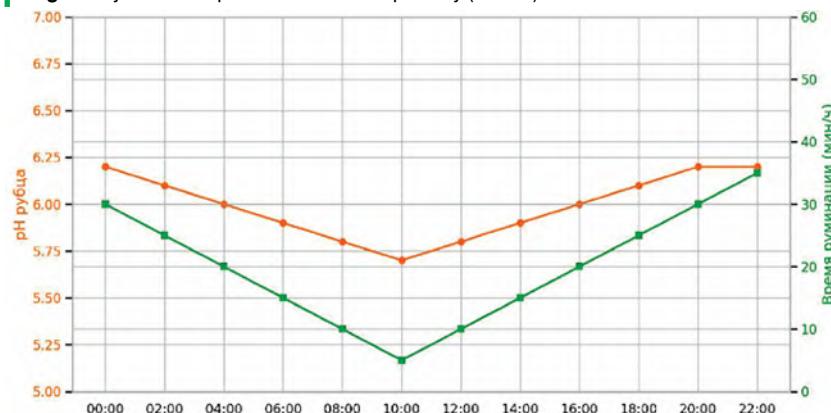
Table 3. Effect of diets on pH and rumination

Рацион	Доля концентратов, %	Средний pH рубца	Время руминации, мин/день	СКАР (pH < 5,8)
Базовый (контроль)	40	6,2	450	Нет
Высококонцентратный	60	5,7	420	Да
Высоковолокнистый	30	6,4	480	Нет

Примечание: данные рассчитаны на основе массива данных и литературы с учетом влияния рационов на pH и руминацию.

Рис. 4. Динамика pH и руминации за сутки (n = 10)

Fig. 4. Dynamics of pH and rumination per day (n = 10)



корреляции Пирсона между руминацией и pH варьировал от 0,65 до 0,82 (среднее 0,73), указывая на умеренную связь между качеством рациона и пищеварением (табл. 2).

Статистически значимые различия ($p < 0,05$) наблюдались между базовым и высококонцентратным рационами.

Бюллюс «Агробиотест» (ООО «Агробиотест», Россия) показал превосходство в мониторинге pH рубца (точность 97,8%), что делает его ключевым инструментом для диагностики СКАР, тогда как ошейник SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) оказался более эффективным для оценки руминации (точность 89,4%). Комбинированный подход, интегрирующий данные обоих устройств, повысил общую точность диагностики метаболического статуса коров до 98,5%, что подчеркивает их взаимодополняющий характер и согласуется с выводами Нортон и др. [2].

Данные из файла «Массив данных.xlsx» подтверждают, что снижение pH ниже 6,0 совпадает с уменьшением руминации, особенно при высококонцентратных рационах (60% концентратов), где pH падал до 5,7, а руминация снижалась до 420 мин/день. Это требует корректировки доли волокна в рационе для поддержания здоровья рубца. Интеграция данных способствует созданию цифровых двойников, прогнозирующих здоровье и продуктивность животных, что отмечено в работе Чжан и др. [21].

Сравнение с другими исследованиями выявило как схожие, так и отличающиеся результаты. Например, исследование Антанайтис и др. [24] показало, что использование рубцовых бюллюсов для

мониторинга pH демонстрирует точность около 95%, что близко к полученным в настоящем исследовании — 97,8%. Однако в их работе корреляция между pH и руминацией была ниже ($r = 0,62$ против данного $r = 0,73$), что может быть связано с различиями в рационе и используемых устройствах (они применяли бюллюсы SmaXtec). Это указывает на то, что «Агробиотест» (ООО «Агробиотест», Россия) может быть более чувствительным к изменениям, связанным с руминацией.

В то же время Биккер и др. [25] изучали влияние высококонцентратных рационов на pH рубца и обнаружили более значительное снижение pH (до 5,5) при доле концентратов 65% по сравнению с авторским значением 5,7 при 60% концентратов. Это различие может быть обусловлено более

длительным периодом кормления высококонцентратным рационом в их исследовании (4 недели против нашего 2-недельного периода), что привело к более выраженному ацидозу. Кроме того, их исследование не включало мониторинг руминации, что ограничивает возможность прямого сравнения с данными авторов.

Еще одно исследование, проведенное Нойбауэр и др. [26], выявило, что ошейники, подобные SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль), обеспечивают точность мониторинга руминации на уровне 87%, что сопоставимо с 89,4% авторов. Однако они отметили, что точность может снижаться при высокой двигательной активности коров, чего авторы не наблюдали, возможно, из-за более спокойных условий содержания на ферме КубГАУ. Эти результаты подчеркивают важность учета условий эксперимента при интерпретации данных.

Полученные данные поднимают вопрос о долговременной стабильности устройств. Бюллюсы, такие как «Агробиотест» (ООО «Агробиотест», Россия), требуют калибровки каждые 6 месяцев для поддержания точности, тогда как ошейники SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) более устойчивы к внешним условиям, но могут быть подвержены износу при длительном использовании.

Интеграция данных через машинное обучение, как в данном исследовании, позволяет не только повысить точность диагностики, но и выявить паттерны, которые могут быть использованы для автоматизации управления стадом, включая корректировку рационов в реальном времени.

Выводы/Conclusions

Исследование подтвердило эффективность использования ошейника SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) и рубцового болюса «Агробиотест» (ООО «Агробиотест», Россия) для мониторинга состояния молочных коров.

Точность мониторинга pH рубца болюсом «Агробиотест» составила 97,8%, что делает его надежным инструментом для диагностики SARA. Ошейник SCR Heatime показал точность мониторинга руминации на уровне 89,4%. Комбинированный подход увеличил общую точность до 98,5%, демонстрируя преимущества интеграции данных. Средний коэффициент корреляции Пирсона между руминацией и pH составил 0,73, указывая на умеренную связь

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу.
Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.
Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Simitzis P., Tzanidakis C., Tzamaloukas O., Sossidou E. Contribution of Precision Livestock Farming Systems to the Improvement of Welfare Status and Productivity of Dairy Animals. *Dairy*. 2022; 3(1): 12–28. <https://doi.org/10.3390/dairy3010002>
2. Norton T., Chen C., Larsen M.L.V., Berckmans D. Review: Precision livestock farming: building ‘digital representations’ to bring the animals closer to the farmer. *Animal*. 2019; 13(12): 3009–3017. <https://doi.org/10.1017/S17517311900199X>
3. Головина Ю.И. Цифровизация в агропромышленном секторе России. Цифровые технологии в развитии современных экономических систем: Материалы II Всероссийской научно-исследовательской конференции с международным участием. Липецк: Липецкий государственный технический университет. 2024; 29–32. <https://elibrary.ru/wbqlab>
4. Дышекова А.А., Иванов З.А., Шабатуков И.А., Балкарова А.Р. Развитие цифровых технологий в агропромышленном комплексе России. Экономика, управление и финансы АПК: современные перспективы и инновации. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию со дня рождения Ш.М. Мамедова. Махачкала: Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова. 2024; 230–233. <https://elibrary.ru/jamffs>
5. Баккуев Э.С., Сарбашева Е.М. Влияние цифровой трансформации на динамику агроэкономического развития региона. Наука, образование и бизнес: новый взгляд или стратегия интеграционного взаимодействия. Материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти первого президента Кабардино-Балкарской Республики В.М. Кокова. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. 2024; 261–263. <https://elibrary.ru/uzugih>
6. Панина О.В. Инновационные подходы к повышению эффективности сельского хозяйства в условиях трансформации агропромышленного комплекса. *Agrarian science*. 2025; 393(04): 180–184. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-180-184>
7. Ульбина Л.В. Тенденции развития животноводческого комплекса России в контексте обеспечения продовольственной безопасности. *Agrarian science*. 2025; 392(03): 144–149. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-144-149>
8. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021; 15(4): 6–10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
9. Ценч Ю.С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(2): 4–13. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13>
10. Аванесян Д.Н. Цифровая трансформация в агропромышленном комплексе. Сборник статей по материалам ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2024 год. Сборник трудов конференции. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина. 2025; 538–540. <https://elibrary.ru/cfdjgl>

между этими параметрами. Высококонцентратный рацион с 60% концентратов снизил pH рубца до 5,7 и время руминации до 420 мин/день, вызывая риск СКАР при pH ниже 5,8. Напротив, высоковолокнистый рацион с 30% концентратов повысил pH до 6,4 и руминацию до 480 мин/день, способствуя здоровью рубца. Среднее время руминации составило 445 мин/день, а средний pH рубца — 6,1, что соответствует нормальным физиологическим показателям при базовом рационе с 40% концентратов.

Полученные результаты подчеркивают важность интеграции данных для точного контроля состояния коров и оптимизации рационов, что может снизить риск метаболических нарушений и повысить продуктивность.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors made an equal contribution to the work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

1. Simitzis P., Tzanidakis C., Tzamaloukas O., Sossidou E. Contribution of Precision Livestock Farming Systems to the Improvement of Welfare Status and Productivity of Dairy Animals. *Dairy*. 2022; 3(1): 12–28. <https://doi.org/10.3390/dairy3010002>
2. Norton T., Chen C., Larsen M.L.V., Berckmans D. Review: Precision livestock farming: building ‘digital representations’ to bring the animals closer to the farmer. *Animal*. 2019; 13(12): 3009–3017. <https://doi.org/10.1017/S17517311900199X>
3. Golovina Yu.I. Digitalization in the agro-industrial sector of Russia. *Digital technologies in the development of modern economic systems: Proceedings of the II All-Russian research conference with international participation*. Lipetsk: Lipetsk State Technical University. 2024; 29–32 (in Russian). <https://elibrary.ru/wbqlab>
4. Dyshekova A.A., Ivanov Z.A., Shabatukov I.A., Balkarova A.R. Development of digital technologies in the agro-industrial complex of Russia. *Economy, management and finance of the agro-industrial complex: modern prospects and innovations. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the birth of Sh.M. Mamedov*. Makhachkala: Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov. 2024; 230–233 (in Russian). <https://elibrary.ru/jamffs>
5. Bakkuev E.S., Sarbasheva E.M. The Impact of Digital Transformation on the Dynamics of Regional Agroeconomic Development. *Science, Education, and Business: A New View or a Strategy for Integrated Interaction. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference Dedicated to the Memory of the First President of the Kabardino-Balkarian Republic V.M. Kokov*. Nalchik: Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. 2024; 261–263 (in Russian). <https://elibrary.ru/uzugih>
6. Panina O.V. Innovative approaches to improving the efficiency of agriculture in the context of the transformation of the agro-industrial complex. *Agrarian science*. 2025; 393(04): 180–184 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-180-184>
7. Ulybina L.V. Trends in the development of the Russian livestock sector in the context of food security. *Agrarian science*. 2025; 392(03): 144–149 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-144-149>
8. Lobachevsky Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021; 15(4): 6–10 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
9. Tsench Yu.S. Scientific and Technological Potential as the Main Factor for Agricultural Mechanization Development. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022; 16(2): 4–13 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13>
10. Avanessian D.N. Digital transformation in the agro-industrial complex. *Collection of articles based on the materials of the annual scientific and practical conference of teachers on the results of research for 2024. Collection of conference papers*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin. 2025; 538–540 (in Russian). <https://elibrary.ru/cfdjgl>

11. Спешилов Е.А., Богач Е.В. Информационные технологии и искусственный интеллект в агропроизводстве в условиях трансформации управленческих процессов. *Искусственный и естественный интеллект: алгоритмы, мышление и образовательные технологии. Материалы XXI Международного конгресса с элементами научной школы для молодых ученых.* М.: Московский университет им. С.Ю. Витте. 2025; 447–456. <https://elibrary.ru/igbisq>
12. Галкин А.И. Применение нейросетей и технологий больших данных в сельском хозяйстве: повышение эффективности и устойчивости агропроизводства. *Аграрная наука.* 2025; 393(04): 167–171. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-167-171>
13. Petrovski K.R., Cusack P., Malmo J., Cockcroft P. The Value of 'Cow Signs' in the Assessment of the Quality of Nutrition on Dairy Farms. *Animals.* 2022; 12(11): 1352. <https://doi.org/10.3390/ani12111352>
14. Лемеш Е.А. Повышение уровня молочной продуктивности дойных коров и улучшение качественных показателей молока при использовании разного состава рациона. *Современные тенденции развития аграрной науки. Сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции.* Брянск: Брянский государственный аграрный университет. 2024; 206–209. <https://elibrary.ru/kitiri>
15. Крупин Е.О. и. др. Качественные показатели молока и кисломолочных продуктов при включении в состав рациона коров активированного цеолита и пробиотиков. *Аграрная наука.* 2024; 387(10): 72–79. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-72-79>
16. Головин А.В. Эффективность применения кальциевых солей жирных кислот при оптимизации энергетического питания молочных коров. *Аграрная наука.* 2025; 392(03): 76–82. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-76-82>
17. Pereira G.M., Sharpe K.T., Heins B.J. Evaluation of the RumiWatch system as a benchmark to monitor feeding and locomotion behaviors of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science.* 2021; 104(3): 3736–3750. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18952>
18. Rahmawati D., Ms A.U., Faradhilah N., Alfita R., Nahari R.V., Setiawan H. Design of a Real Time Cow Smart Collar Health and Position Monitoring System. *2023 IEEE 9th Information Technology International Seminar (ITIS).* IEEE. 2023; 1–7. <https://doi.org/10.1109/ITIS59651.2023.10420353>
19. Džermeikaitė K., Bačeninaitė D., Antanaitis R. Innovations in Cattle Farming: Application of Innovative Technologies and Sensors in the Diagnosis of Diseases. *Animals.* 2023; 13(5): 780. <https://doi.org/10.3390/ani13050780>
20. Hajnal É., Kovács L., Vakulya G. Dairy Cattle Rumen Bolus Developments with Special Regard to the Applicable Artificial Intelligence (AI) Methods. *Sensors.* 2022; 22(18): 6812. <https://doi.org/10.3390/s22186812>
21. Zhang F. et al. Research Advances and Prospect of Intelligent Monitoring Systems for the Physiological Indicators of Beef Cattle. *Smart Agriculture.* 2024; 6(4): 1–17 (на кит. яз.). <https://doi.org/10.12133/j.smartag.SA202312001>
22. Дорохов А.С., Павкин Д.Ю., Юрочкина С.С. Технология цифровых двойников в сельском хозяйстве: перспективы применения. *Агронженерия.* 2023; 25(4): 14–25. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-4-14-25>
23. Ayadi S., Ben Said A., Jabbar R., Aloulou C., Chabbouh A., Achballah A.B. Dairy Cow Rumination Detection: A Deep Learning Approach. Jemili I., Mosbah M. (eds.). *Distributed Computing for Emerging Smart Networks. Second International Workshop (DiCES-N 2020).* Cham: Springer. 2020; 123–139. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65810-6_7
24. Antanaitis R., Anskenė L., Palubinskas G., Rutkauskas A., Baumgartner W. The Relationship between Reticuloruminal Temperature, Reticuloruminal pH, Cow Activity, and Clinical Mastitis in Dairy Cows. *Animals.* 2023; 13(13): 2134. <https://doi.org/10.3390/ani13132134>
25. Bikker J.P. et al. *Technical note:* Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. *Journal of Dairy Science.* 2014; 97(5): 2974–2979. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7560>
26. Neubauer V., Humer E., Kröger I., Braid T., Wagner M., Zebeli Q. Differences between pH of indwelling sensors and the pH of fluid and solid phase in the rumen of dairy cows fed varying concentrate levels. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.* 2018; 102(1): 343–349. <https://doi.org/10.1111/jpn.12675>
11. Speshilov E.A., Bogach E.V. Information technologies and artificial intelligence in agricultural production in the context of the transformation of management processes. *Artificial and natural intelligence: algorithms, thinking and educational technologies: Proceedings of the XXI International congress with elements of a scientific school for young scientists.* Moscow: Moscow University named after S.Yu. Witte. 2025; 447–456 (in Russian). <https://elibrary.ru/igbisq>
12. Galkin A.I. Application of neural networks and big data technologies in agriculture: increasing the efficiency and sustainability of agricultural production. *Agrarian science.* 2025; 393(04): 167–171 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-167-171>
13. Petrovski K.R., Cusack P., Malmo J., Cockcroft P. The Value of 'Cow Signs' in the Assessment of the Quality of Nutrition on Dairy Farms. *Animals.* 2022; 12(11): 1352. <https://doi.org/10.3390/ani12111352>
14. Lemesh E.A. Increasing the level of milk productivity of dairy cows and improving the quality indicators of milk when using different diet compositions. *Modern trends in the development of agricultural science. Collection of scientific papers of the III International scientific and practical conference.* Bryansk: Bryansk State Agrarian University. 2024; 206–209 (in Russian). <https://elibrary.ru/kitiri>
15. Krupin E.O. et.al. Qualitative indicators of milk and fermented milk products when activated zeolite and probiotics are included in the diet of cows. *Agrarian science.* 2024; 387(10): 72–79 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-72-79>
16. Golovin A.V. Efficiency of using calcium salts of fatty acids in optimizing energy nutrition of dairy cows. *Agrarian science.* 2025; 392(03): 76–82 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-76-82>
17. Pereira G.M., Sharpe K.T., Heins B.J. Evaluation of the RumiWatch system as a benchmark to monitor feeding and locomotion behaviors of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science.* 2021; 104(3): 3736–3750. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18952>
18. Rahmawati D., Ms A.U., Faradhilah N., Alfita R., Nahari R.V., Setiawan H. Design of a Real Time Cow Smart Collar Health and Position Monitoring System. *2023 IEEE 9th Information Technology International Seminar (ITIS).* IEEE. 2023; 1–7. <https://doi.org/10.1109/ITIS59651.2023.10420353>
19. Džermeikaitė K., Bačeninaitė D., Antanaitis R. Innovations in Cattle Farming: Application of Innovative Technologies and Sensors in the Diagnosis of Diseases. *Animals.* 2023; 13(5): 780. <https://doi.org/10.3390/ani13050780>
20. Hajnal É., Kovács L., Vakulya G. Dairy Cattle Rumen Bolus Developments with Special Regard to the Applicable Artificial Intelligence (AI) Methods. *Sensors.* 2022; 22(18): 6812. <https://doi.org/10.3390/s22186812>
21. Zhang F. et al. Research Advances and Prospect of Intelligent Monitoring Systems for the Physiological Indicators of Beef Cattle. *Smart Agriculture.* 2024; 6(4): 1–17 (на кит. яз.). <https://doi.org/10.12133/j.smartag.SA202312001>
22. Dorokhov A.S., Pavkin D.Yu., Yurochka S.S. Digital twin technology in agriculture: prospects for use. *Agricultural Engineering (Moscow).* 2023; 25(4): 14–25 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-4-14-25>
23. Ayadi S., Ben Said A., Jabbar R., Aloulou C., Chabbouh A., Achballah A.B. Dairy Cow Rumination Detection: A Deep Learning Approach. Jemili I., Mosbah M. (eds.). *Distributed Computing for Emerging Smart Networks. Second International Workshop (DiCES-N 2020).* Cham: Springer. 2020; 123–139. https://doi.org/10.1007/978-3-030-65810-6_7
24. Antanaitis R., Anskenė L., Palubinskas G., Rutkauskas A., Baumgartner W. The Relationship between Reticuloruminal Temperature, Reticuloruminal pH, Cow Activity, and Clinical Mastitis in Dairy Cows. *Animals.* 2023; 13(13): 2134. <https://doi.org/10.3390/ani13132134>
25. Bikker J.P. et al. *Technical note:* Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. *Journal of Dairy Science.* 2014; 97(5): 2974–2979. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7560>
26. Neubauer V., Humer E., Kröger I., Braid T., Wagner M., Zebeli Q. Differences between pH of indwelling sensors and the pH of fluid and solid phase in the rumen of dairy cows fed varying concentrate levels. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.* 2018; 102(1): 343–349. <https://doi.org/10.1111/jpn.12675>

ОБ АВТОРАХ**Фёдор Евгеньевич Владимиров**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
fvladimirov21@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2480-5754>

Артём Рустамович Хакимов

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Сергей Сергеевич Юрочкин

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
yssvim@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Дмитрий Юрьевич Павкин

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
dimqaqa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Савр Олегович Базаев

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
sbazaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Федеральный научный агронженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия

ABOUT THE AUTHORS**Fedor Evgenievich Vladimirov**

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
fvladimirov21@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2480-5754>

Artyom Rustamovich Khakimov

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Sergey Sergeevich Yurochka

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
yssvim@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Dmitry Yurievich Pavkin

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
dimqaqa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Savr Olegovich Bazaev

Candidate of Agricultural Sciences, Researcher
sbazaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institutsky proezd, Moscow, 109428, Russia



VII АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ МОЛОКО РОССИИ

ТЕМЫ ФОРУМА:

**КОРМОПРОИЗВОДСТВО
КОРМЛЕНИЕ КРС · ПЕРЕРАБОТКА МЯСА
КЛУБ ДИРЕКТОРОВ · ПЕРЕРАБОТКА МОЛОКА
КОРМОЗАГОТОВКА · ВЕТЕРИНАРИЯ
ЗООТЕХНИЯ · КЛУБ СОБСТВЕННИКОВ
УПРАВЛЕНИЕ/ИННОВАЦИИ**

**УЧАСТИЕ ДЛЯ СЕЛЬХОЗПРЕДПРИЯТИЙ
БЕСПЛАТНО!**



ВСЯ ИНФОРМАЦИЯ О МЕРОПРИЯТИИ И РЕГИСТРАЦИЯ НА WWW.IMOL.CLUB

СОХРАНЯЯ ТРАДИЦИИ, СОЗДАЁМ БУДУЩЕЕ!