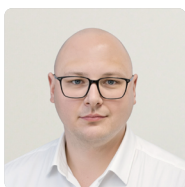


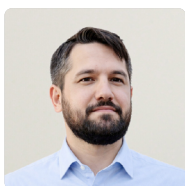
БИОМЕТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ РУБЦОВОЙ СРЕДЫ У МОЛОДНЯКА МЯСНОГО СКОТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВНУТРИЖЕЛУДОЧНЫХ БОЛЮСОВ: РАЗРАБОТКА ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗДОРОВЬЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ

© Юрочка С.С., Владимиров Ф.Е., Хакимов А.Р.



Сергей Сергеевич Юрочка

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
Москва, Российская Федерация
e-mail: yssvim@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-2511-7526



Федор Евгеньевич Владимиров

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
Москва, Российская Федерация
e-mail: fvladimirov21@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2480-5754



Артем Рустамович Хакимов

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
Москва, Российская Федерация
e-mail: arty.hv@gmail.com
ORCID: 0000-0002-4332-9274

Статья посвящена разработке онтологической модели верхнего уровня для прогнозирования риска подострого ацидоза рубца на основе проведенного многопараметрического анализа рубцовой среды коров абердин-ангусской и якутской пород. Цель работы – повышение эффективности выявления подострого ацидоза рубца коров. В исследовании собран массив данных от восьми голов абердин-ангусской и двух голов якутской породы. Животные возрастом от 10 до 16 месяцев. Использовались внутрижелудочные болюсы с датчиками pH, температуры и трехосевым акселерометром с пероральным введением в рубец. Применялись специальные фильтры температурных аномалий для исключения артефактов поения и кислотных аномалий для исключения сбоев измерения. Для оценки статистики использовалась корреляция Пирсона на десятиминутных и суточных данных, а для межпородных различий – t-критерий Стьюдента с $p < 0,05$. Итого собрано 33090 записей с валидными измерениями, что составляет 5515 часов мониторинга. Среднее pH $6,94 \pm 0,31$ при температуре рубца в диапазоне от $37,9^\circ\text{C}$ до $38,7^\circ\text{C}$. Корреляция температуры с pH значима у 8 из 10 животных, в 7 случаях является положительной в диапазоне от 0,084 до 0,241. Составлены матрицы попарных

корреляций Пирсона по каждому животному и диаграмма рассеяния pH и температуры рубца по двум породам с линиями регрессии. Составлена онтологическая модель с прогнозом pH в следующем часу с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,89$. Для классификации риска подострого ацидоза рубца оценка дискриминационной способности классификационной модели 0,975. В исследовании изучена и реализована онтологическая модель биоценоза рубца, достоверно оценены различия в pH между абердин-ангусской и якутской породами, определены корреляция температуры с pH. Разработанная онтологическая модель продемонстрировала высокую точность в предсказании изменения pH и классификации риска подострого ацидоза рубца.

Крупный рогатый скот, датчик-болюс, мониторинг здоровья, желудочно-кишечный тракт, рубец, онтологическая модель.

Благодарность

Выполнено в рамках государственного задания FGUN-2025-0006.

Введение

В Российской Федерации в области АПК существует значительный потенциал развития сельского хозяйства. Его раскрытие зависит от инструментов повышения эффективности аграрного производства, создания и внедрения средств автоматизации, цифровых технологий и искусственного интеллекта (Лобачевский, Дорохов, 2021). Акселерометры, интегрированные в носимые (ошейники) и имплантируемые устройства (болюсы), являются ключевыми инструментами для отслеживания активности, жвачки и физиологических параметров (Pereira et al., 2021). Болюсы, размещенные в сетке (в 1 из 4 камер желудка КРС), специализируются на мониторинге внутренних процессов, таких как жвачка и частота сокращения рубца, а также физиологических показателей (pH, температура) (Zhang et al., 2024).

В отличие от ошейников, болюсы обеспечивают прямой мониторинг внутренней среды, что делает их незаменимыми для диагностики метаболических нарушений (Džermeikaitė et al., 2023). Болюсы, такие как smaXtec (smaXtec animal care technology GmbH, Австрия), обеспечивают раннюю диагностику метаболических нарушений с чувствительностью до 92% (Hajnal et al., 2022).

Рубцовое пищеварение занимает центральное место в обеспечении продуктивности и здоровья жвачных животных. Рацион напрямую влияет на здоровье рубца, продуктивность и общее благополучие коров (Petrovski et al., 2022). Нарушения кислотно-щелочного баланса, такие как субклинический ацидоз, вызванные несбалансированными рационами с высоким содержанием концентратов, приводят к снижению надоев и повышают риск метаболических заболеваний (Владимиров и др., 2019).

Нарушения рубцового метаболизма, прежде всего подострый ацидоз рубца (SARA), приводят к снижению потребления корма, дисбалансу микробиоты, замедлению приростов живой массы и повышению риска вторичных заболеваний (Plaizier et al., 2008; Enemark, 2008; Zebeli, Metzler-Zebeli, 2012). SARA протекает латентно, что исключает своевременную диагностику традиционными методами.

Симптомами ацидоза рубца у коров являются диарея, уменьшение аппетита, снижение удоев молока, что в будущем может повлечь другие заболевания, такие как токсикоз, тимпания, кетоз, ламинит, общая слабость. Чаще всего встречается субклинический ацидоз, при котором pH рубца составляет от 5,6

до 6,0. Это заболевание серьезно влияет на здоровье коров и снижает производительность молочных ферм (Астахова и др., 2015).

Существующие исследования подчеркивают важность оценки состояния рубцового биоценоза, поскольку нарушение устойчивого соотношения микроорганизмов и направленности ферментативных процессов может служить одним из признаков неблагополучия рубцовой среды и повышенного риска развития ацидоза (Йылдырым и др., 2020). Необходимо комплексно контролировать состояние рубца при корректровке кормления, поскольку выраженные изменения ферментации и микробного состава рубца могут сопровождаться сдвигом кислотно-щелочного равновесия и создавать предпосылки для развития рубцового ацидоза (Шейда, 2022).

Современные внутрижелудочные болюсы с датчиками pH, температуры и трехосевого акселерометра открывают возможность непрерывного неинвазивного мониторинга рубцовой среды с частотой в одно измерение каждые 10 минут (Alzahal et al., 2009; Liang et al., 2017). Поскольку данные по молодняку мясных пород в Российской Федерации практически отсутствуют, актуальной целью является сбор и систематизация данных в онтологическую модель для возможности прогноза развития подострого ацидоза рубца у представленных в России пород коров.

Цель и задачи исследования

Цель – повышение эффективности выявления подострого ацидоза рубца у коров с последующей реализацией онтологической модели.

Задачи исследования:

- сбор данных о кислотности, температуре и двигательной активности не менее 10 особей молодняка коров;
- анализ показателей рубцовой среды;

- разработка онтологической модели, реализующей прогноз pH с оценкой важности признаков.

Материалы и методы

Исследование и составление онтологической модели проводилось на базе ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в Москве, сбор данных – в ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. Л.К. Эрнста» в Московской области с сентября 2025 года по май 2026 года. Объект исследования: 10 голов клинически здорового молодняка: 8 абердин-ангусской и 2 якутской породы, возраст от 10 до 16 месяцев. Животные содержались в стандартных производственных условиях по принятым технологиям мясного скотоводства; рационы соответствовали детализированным нормам ВИЖ им. Л.К. Эрнста.

Для мониторинга использованы болюсы собственной разработки ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, оснащенные датчиками pH (диапазон измерений 1–14 ед., разрешение 0,01 ед.), температуры (диапазон 0–45 °C) и трехосевым акселерометром. Болюсы вводились в рубец животных с помощью специального аппликатора. Данные с болюсов передавались на базовую станцию по радиоволнам в диапазоне ISM (433 МГц). С базовой станции данные передавались на сервер через GSM (900/1800 МГц) и Wi-Fi. Полученные данные анализировались с помощью специальных алгоритмов и отправлялись в виде уведомлений в программное обеспечение. Датчики pH были калиброваны с использованием буферных растворов pH 4 и pH 7 в начале исследования. Данные считывались каждые 10 минут в течение дня (144 измерения в сутки). Период наблюдения составил 26–29 суток на животное.

Из первичного массива исключались строки с $T < 37,0$ °C (артефакт охлаждения болюса при поении) и строки с $pH < 5,5$

(физиологически невозможные значения – сбой электрохимического датчика). Применялась линейная интерполяция на пропусках длительностью до 12 точек (2 ч.), для более длинных пропусков – замена медианным значением часового окна. После предобработки получено 33090 валидных записей.

Индекс двигательной активности (ИДА) рассчитывался как произведение суммарной энергии движения на количество актов движения за десятиминутный интервал. Для интегральной оценки рубцового здоровья разработан Rumen Health Index:

$$RHI = pH_{\text{норм}} \times 0,4 + (1 - SARA/100) \times 0,3 + \text{ИДА}_{\text{норм}} \times 0,3, \quad (1)$$

где $pH_{\text{норм}}$ и $\text{ИДА}_{\text{норм}}$ – минимакс-нормированные значения.

Онтологическая модель разработана в среде Protégé (OWL 2). Прогностическая модель Random Forest (200 деревьев, 5-кратная перекрестная проверка) обучалась на признаках: текущее pH, температура, ИДА, породный код. Статистический анализ выполнен в Python 3.11 (библиотеки pandas, scipy, scikit-learn). Корреляции Пирсона рассчитывались на

почасовых и суточных агрегированных данных. Межпородные различия оценивались двухвыборочным t-критерием Стьюдента (уровень значимости $p < 0,05$). Данные представлены как $M \pm SD$.

Результаты исследований и их обсуждение

Первичный анализ выявил выраженную индивидуальную изменчивость показателей рубцовой среды. Сводные биометрические характеристики по всем животным представлены в табл. 1.

Средний pH по группе составил $6,94 \pm 0,31$ ед. У большинства животных абердин-ангусской породы значения pH находились в пределах физиологической нормы (6,2–7,2 ед.). Якутские (№ 001 и № 002) стабильно превосходили абердин-ангусских по pH рубца ($7,27 \pm 0,30$ против $6,86 \pm 0,16$; $t = -2,81$; $p = 0,023$). SARA составила 0% у обоих животных, тогда как в группе AA – в среднем 1,07%. Также представители данной породы характеризовались наиболее высокими значениями RHI (0,489 и 0,713), что указывает на лучшую адаптацию рубцовой среды к условиям кормления.

Животное № 4097 являлось наиболее проблемным по комплексу объектив-

Таблица 1. Сводные биометрические показатели рубцовой среды у молодняка (n = 10, после предобработки, $M \pm SD$)

№	Порода, возраст	n	pH $\pm$ SD	min	max	$\bar{T} \pm SD$ °C	< 5,8%	SARA%	ИДА	RHI
4064	аб.-анг., 10 мес.	3350	$6,76 \pm 0,17$	5,94	7,13	$38,1 \pm 0,3$	0,00	0,51	2468	0,559
4198	аб.-анг., 1 год 4 мес.	3427	$6,79 \pm 0,23$	5,74	7,29	$38,7 \pm 0,4$	0,09	2,16	2721	0,593
4057	аб.-анг., 1 год 4 мес.	3354	$7,09 \pm 0,26$	6,22	7,60	$38,4 \pm 0,6$	0,00	0,00	334	0,506
4175	аб.-анг., 1 год 4 мес.	3015	$7,04 \pm 0,19$	6,07	7,52	$38,2 \pm 0,4$	0,00	0,13	3268	0,779
4091	аб.-анг., 1 год 4 мес.	3278	$6,70 \pm 0,16$	6,22	7,20	$38,2 \pm 0,4$	0,00	0,00	3057	0,590
4455	аб.-анг., 1 год 4 мес.	3291	$6,91 \pm 0,16$	6,39	7,34	$38,0 \pm 0,3$	0,00	0,00	1953	0,583
4358	аб.-анг., 1 год 4 мес.	3412	$6,95 \pm 0,15$	6,32	7,37	$38,4 \pm 0,5$	0,00	0,00	1935	0,597
4097	аб.-анг., 1 год 4 мес.	3349	$6,68 \pm 0,26$	5,83	7,75	$38,7 \pm 0,5$	0,00	5,70	1646	0,417
001	якутская, 1 год 4 мес.	3401	$7,05 \pm 0,19$	6,52	7,50	$37,9 \pm 0,3$	0,00	0,00	359	0,489
002	якутская, 1 год 4 мес.	3213	$7,48 \pm 0,24$	6,78	8,11	$37,9 \pm 0,3$	0,00	0,00	465	0,713

Примечание: SARA% – доля времени с pH < 6,2; ИДА – средний ИДА (усл. ед.); RHI – Rumen Health Index (0–1). Красный фон – животное № 4097 (min RHI); зеленый – якутская порода.

Источник: результаты исследований авторов.

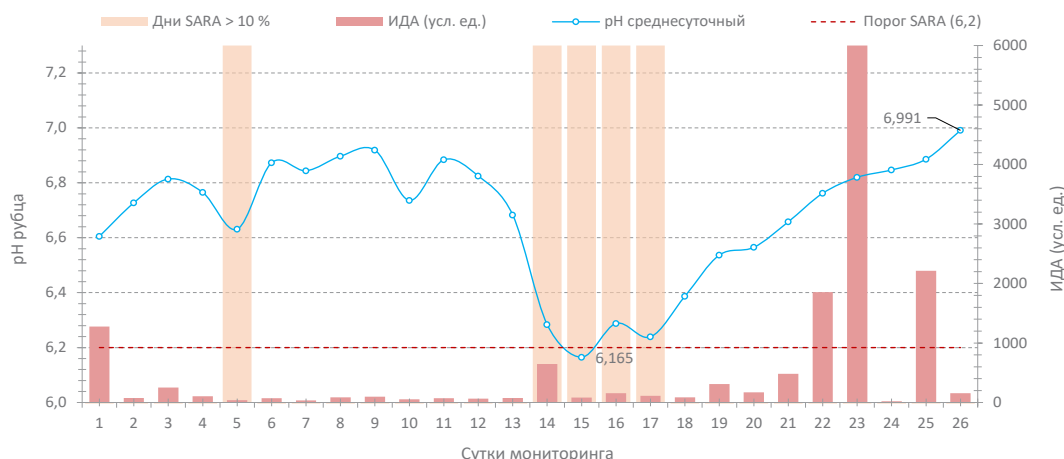


Рис. 1. Суточная динамика pH рубца (левая ось, синяя линия) и ИДА (правая ось, красные столбцы) у животного № 4097

Примечание: По левой оси – pH рубца (синяя линия); по правой оси – сглаженный ИДА (красная линия, скользящее среднее с окном 6 ч.). Пунктирная горизонталь – порог SARA (6,2).

Данные после фильтрации ($T \geq 37^\circ\text{C}$, $\text{pH} \geq 5,5$).

Источник: результаты исследований авторов.

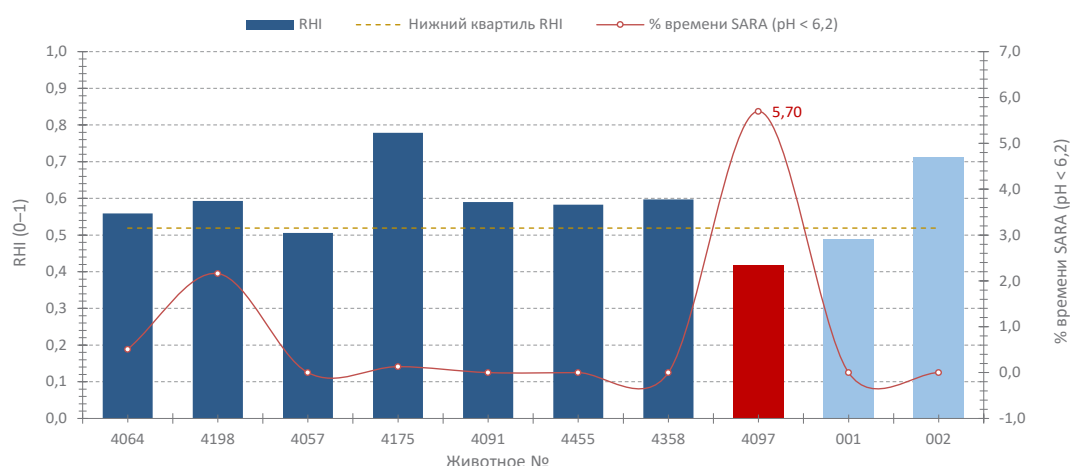


Рис. 2. Сравнительная характеристика RHI (столбцы, левая ось) и доли времени SARA% (правая ось) по всем 10 животным

Источник: результаты исследований авторов.

ных показателей: наибольшая доля времени SARA ($\text{pH} < 6,2$) составила 5,70% (около 31,8 ч. за период мониторинга); максимальное стандартное отклонение pH ($\text{SD} = 0,26$); минимальный RHI (0,417). Критический период приходился на дни 14–17, когда в день 15 доля SARA-измерений достигала 59% суточного массива. После 18 дня постепенно нормализовалась.

Суточная динамика pH рубца (левая ось, синяя линия) и ИДА (правая ось, красные

столбцы) у животного № 4097 (аб.-анг., 1 год 4 мес.) представлена на *рис. 1*.

Проведенный анализ межпородных различий показал, что якутские животные имеют средний pH $7,27 \pm 0,30$ против $6,86 \pm 0,16$ у абердин-ангусских ($t = -2,81$, $p = 0,023$). SARA у якутских – 0%. RHI варьировал от 0,417 (№ 4097) до 0,779 (№ 4175). Сравнительная характеристика представлена на *рис. 2*.

Корреляционный анализ почасовых данных показал значимую положитель-

Таблица 2. Сводные биометрические показатели рубцовой среды у молодняка (n = 10, после предобработки, М ± SD)

№	Порода	r(pH,T)	p	sig	r(pH,ИДА)	p	sig	r(T,ИДА)	p	sig
4064	аб.-анг.	-0,028	0,101	НЗ	-0,036	0,039	*	-0,004	0,828	НЗ
4198	аб.-анг.	0,191	< 0,001	***	-0,011	0,513	НЗ	0,059	< 0,001	***
4057	аб.-анг.	0,086	< 0,001	***	-0,046	0,007	**	0,014	0,409	НЗ
4175	аб.-анг.	0,241	< 0,001	***	0,015	0,401	НЗ	0,031	0,085	НЗ
4091	аб.-анг.	0,007	0,675	НЗ	-0,008	0,650	НЗ	0,108	< 0,001	***
4455	аб.-анг.	0,108	< 0,001	***	0,023	0,183	НЗ	-0,036	0,036	*
4358	аб.-анг.	0,084	< 0,001	***	0,006	0,713	НЗ	0,033	0,057	НЗ
4097	аб.-анг.	0,167	< 0,001	***	-0,007	0,667	НЗ	0,011	0,539	НЗ
001	якутская	0,086	< 0,001	***	0,036	0,037	*	0,127	< 0,001	***
002	якутская	-0,145	< 0,001	***	-0,049	0,005	**	0,068	< 0,001	***
Пул	–	-0,169	< 0,001	***	-0,008	0,130	НЗ	0,024	< 0,001	***

Источник: результаты исследований авторов.

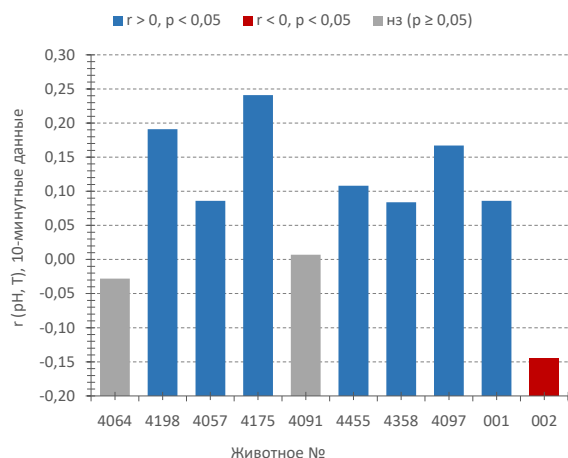


Рис. 3. R (рН, температура) по десятиминутным данным

Источник: результаты исследований авторов.

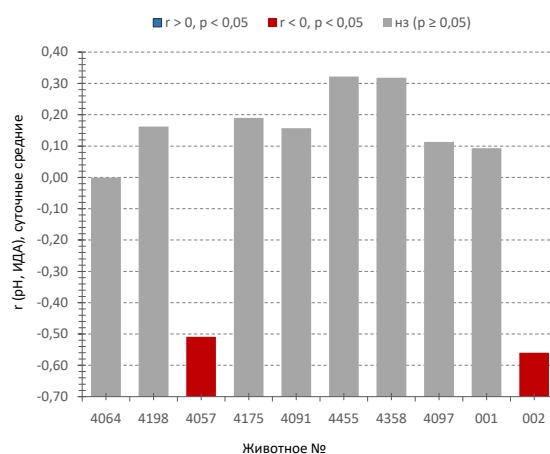


Рис. 4. R (рН, ИДА) по суточным средним

Источник: результаты исследований авторов.

ную корреляцию рН с температурой рубца у большинства животных ($r = 0,084-0,241$; $p < 0,001$). В объединенной выборке зафиксирован инвертированный знак ($r = 0,169$; $p < 0,001$) – проявление экологической ошибки агрегирования (ecological fallacy). Подробные результаты корреляционного анализа представлены в *табл. 2*.

Выявили, что корреляция Пирсона $r(pH, T)$ значима у 8 из 10 животных ($p < 0,001$); у 7 из 8 – положительная ($r = 0,084-0,241$). В объединенной выборке $r = -0,169$ соответствует примеру экологической ошибки агрегирования: знак инвертируется при переходе от индивидуального к популяционному уровню.

Корреляция Пирсона $r(pH, ИДА)$ на десятиминутных данных у большинства незначима и мгновенный ИДА не является суррогатом рН. Значения корреляций представлены на *рис. 3, 4, 5* и *табл. 3*.

Затем был проведен корреляционный анализ с суточной агрегацией. Результаты представлены в *табл. 4*.

Корреляция Пирсона $r(pH, T)$ значима у № 4064 ($r = -0,447$, $p = 0,019$) и № 002 ($r = -0,602$, $p = 0,001$). $R(pH, ИДА)$ выделяется у № 4057 ($r = -0,509$, $p = 0,007$) и № 002 ($r = -0,560$, $p = 0,002$) – отрицательный знак отражает постпрандиальную активность в периоды ферментационного давления.

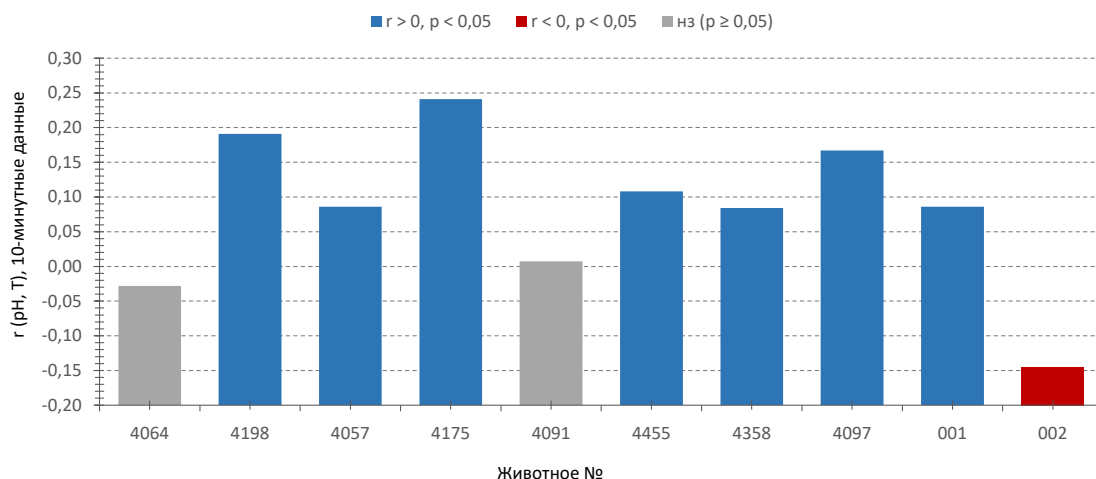


Рис. 5. Диаграмма рассеяния рН и температуры рубца по двум породам с линиями регрессии

Источник: результаты исследований авторов.

Таблица 3. Матрица попарных корреляций Пирсона по каждому животному (десятиминутные данные)

№ животного	r(pH, T)	r(pH, ИДА)	r(T, ИДА)
1. № 4064	-0,03 нз	-0,04*	-0,00 нз
2. № 4198	+0,19***	-0,01 нз	+0,06***
3. № 4057	+0,09***	-0,05**	+0,01 нз
4. № 4175	+0,24***	+0,01 нз	+0,03 нз
5. № 4091	+0,01 нз	-0,01 нз	+0,11***
6. № 4455	+0,11***	+0,02 нз	-0,04*
7. № 4358	+0,08***	+0,01 нз	+0,03 нз
8. № 4097	+0,17***	-0,01 нз	+0,01 нз
9. № 001 (якутская)	+0,09***	+0,04*	+0,13***
10. № 002 (якутская)	-0,14***	-0,05**	+0,07***
Цветовая шкала г	отрицат.	0	положит.

Легенда значимости: нз – $p \geq 0,05$; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. Пунктир отделяет якутскую породу (№ 001, 002).
 Источник: результаты исследований авторов.

Таблица 4. Корреляции Пирсона на суточных средних (n = 24–27 сут/животное)

№	Порода	r(pH,T)	p	sig	r(pH,ИДА)	p	sig
4064	аб.-анг.	-0,447	0,019	*	-0,001	0,995	нз
4198	аб.-анг.	0,302	0,126	нз	0,162	0,419	нз
4057	аб.-анг.	0,133	0,508	нз	-0,509	0,007	**
4175	аб.-анг.	0,230	0,281	нз	0,190	0,375	нз
4091	аб.-анг.	-0,280	0,158	нз	0,157	0,433	нз
4455	аб.-анг.	-0,078	0,700	нз	0,322	0,101	нз
4358	аб.-анг.	-0,026	0,900	нз	0,318	0,107	нз
4097	аб.-анг.	0,313	0,112	нз	0,113	0,573	нз
001	якутская	0,274	0,166	нз	0,093	0,644	нз
002	якутская	-0,602	0,001	***	-0,560	0,002	**

Источник: результаты исследований авторов.

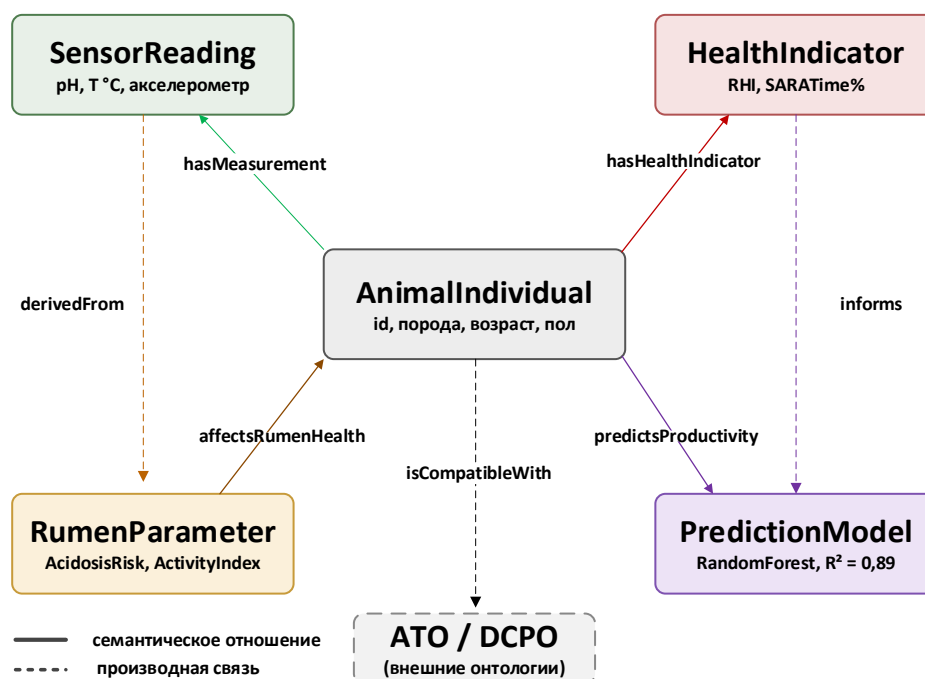


Рис. 6. Онтологическая модель верхнего уровня (OWL 2)

Источник: результаты исследований авторов.

На основе представленных выше результатов была разработана онтологическая модель, реализующая прогноз рН в следующем часу с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,89$ и среднеквадратичной ошибкой $RMSE = 0,10$. Важность признаков: рН = 0,957; Т = 0,023; ИДА = 0,019. OWL 2 онтология формализует цикл: SensorReading → RumenParameter → HealthIndicator → PredictionModel. Схема онтологической модели верхнего уровня представлена на рис. 6.

Из полученного результата следует, что иерархия предикторов модели сильно смещена в сторону рН с важностью 0,957, а вот температура рубца является значимым биомаркером краткосрочных изменений. ИДА информативен лишь на суточном масштабе.

Выводы

Проведенное исследование демонстрирует, что непрерывный внутренний мониторинг рубцовой среды у молодняка мясного скота позволяет выявить индивиду-

альные паттерны рубцовой дисфункции, недоступные при традиционном эпизодическом контроле. Животные якутской породы отличались более высоким средним рН и нулевой долей SARA, что может свидетельствовать о лучшей адаптации рубцовой микробиоты данной породы к условиям интенсивного откорма. Разработанный алгоритм предобработки данных болюсов, онтологическая модель верхнего уровня (OWL 2) и Rumen Health Index (RHI) в совокупности формируют методологический инструментарий для создания персонализированных цифровых копий животных, способных прогнозировать риски метаболических нарушений с $R^2 = 0,89$ и $AUC(SARA) = 0,975$. Практическое значение результатов состоит в возможности их применения в системах автоматического оповещения фермера о признаках подострого ацидоза за 12–24 часа до клинического проявления, что позволит снизить экономические потери от кормовых нарушений в молодняковом мясном скотоводстве.

ЛИТЕРАТУРА

- Астахова Д.П., Рядчиков В.Г., Душкин Е.В. (2015). Основные причины, формы контроля и проявления ацидоза // Эффективное животноводство. № 9 (118). С. 9–11.
- Владимиров Ф.Е., Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю. (2019). Исследование pH и температуры рубца для диагностики ацидоза у дойных коров после отела // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. № 4 (36). С. 196–199.
- Йылдырым Е.А., Лаптев Г.Ю., Ильина Л.А. [и др.]. (2020). Таксономическая и функциональная характеристика микробиоты рубца лактирующих коров под влиянием пробиотика Целлобактерина+ // Сельскохозяйственная биология. Т. 55. № 6. С. 1204–1219. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.6.1204rus
- Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. (2021). Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // Сельскохозяйственные машины и технологии. Т. 15. № 4. С. 6–10. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10
- Шейда Е.В. (2022). Изучение влияния различных добавок на ферментативные процессы в рубце и таксономический состав микробиома // Аграрный вестник Урала. № 3 (218). С. 72–82. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-218-03-72-82
- Alzahal O. et al. (2009). Telemetric monitoring of ruminal temperature as core body temperature indicator. *Journal of Dairy Science*, 92, 5500–5505. DOI: 10.3168/jds.2009-2220
- Džermeikaitė K., Bačėninaitė D., Antanaitis R. (2023). Innovations in cattle farming: Application of innovative technologies and sensors in the diagnosis of diseases. *Animals*, 13(5), 780. DOI: 10.3390/ani13050780
- Enemark J.M.D. (2008). The monitoring, prevention and treatment of SARA: A review. *Veterinary Journal*, 176, 32–43. DOI: 10.1016/j.tvjl.2007.12.021
- Hajnal É., Kovács L., Vakulya G. (2022). dairy cattle rumen bolus developments with special regard to the applicable artificial intelligence (AI) methods. *Sensors*, 22(18), 6812. DOI: 10.3390/s22186812
- Liang D. et al. (2017). Estimating US dairy clinical disease costs with stochastic simulation. *Journal of Dairy Science*, 100, 1472–1486. DOI: 10.3168/jds.2016-11565
- Pereira G.M., Sharpe K.T., Heins B.J. (2021). Evaluation of the RumiWatch system as a benchmark to monitor feeding and locomotion behaviors of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(3), 3736–3750. DOI: 10.3168/jds.2020-18952
- Petrovski K.R., Cusack P., Malmo J., Cockcroft P. (2022). The value of “cow signs” in the assessment of the quality of nutrition on dairy farms. *Animals*, 12(11), 1352. DOI: 10.3390/ani12111352. EDN: ETRBTU
- Plaizier J.C., Krause D.O., Gozho G.N., McBride B.W. (2008). Subacute ruminal acidosis in dairy cows. *Veterinary Journal*, 176, 21–31. DOI: 10.1016/j.tvjl.2007.12.016
- Zebeli Q., Metzler-Zebeli B.U. (2012). Interplay between rumen digestive disorders and diet-induced inflammation. *Research in Veterinary Science*, 93, 1099–1108. DOI: 10.1016/j.rvsc.2012.02.004
- Zhang F. [et al.]. (2024). Research Advances and Prospect of Intelligent Monitoring Systems for the Physiological Indicators of Beef Cattle. *Smart Agriculture*, 6(4), 1–17 (in Chinese). DOI: 10.12133/j.smart-ag.SA202312001

Сведения об авторах

Сергей Сергеевич Юрочка – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; e-mail: yssvim@yandex.ru)

Федор Евгеньевич Владимиров – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; e-mail: fvladimirov21@gmail.com)

Артем Рустамович Хакимов – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Российская Федерация, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5; e-mail: arty.hv@gmail.com)

Заявленный вклад авторов: все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

BIOMETRIC MONITORING OF THE RUMEN ENVIRONMENT IN YOUNG BEEF CATTLE USING INTRARUMINAL BOLUSES: DEVELOPMENT OF ONTOLOGICAL MODEL FOR PREDICTING HEALTH AND PRODUCTIVITY

Yurochka S.S., Vladimirov F.E., Khakimov A.R.

The article is devoted to the development of an upperlevel ontological model for predicting the risk of subacute ruminal acidosis based on a multiparameter analysis of the rumen environment of cows of the Aberdeen Angus and the Yakutian breeds. The aim of the work is to improve the efficiency of detecting subacute ruminal acidosis in cows. The study collected a data array from eight Aberdeen Angus and two Yakutian breed animals. The animals were aged from 10 to 16 months. Intraruminal boluses with pH, temperature, and threeaxis accelerometer sensors were used, administered orally into the rumen. Special filters for temperature anomalies were applied to exclude drinking artifacts, and filters for acid anomalies were used to exclude measurement failures. Pearson correlation was used to assess statistics on tenminute and daily data, and the Student's ttest with $p < 0.05$ was used for interbreed differences. In total, 33,090 records with valid measurements were collected, amounting to 5,515 hours of monitoring. The mean pH was 6.94 ± 0.31 , with rumen temperature ranging from 37.9 °C to 38.7 °C. The correlation of temperature with pH was significant in 8 of 10 animals, and in 7 cases it was positive, ranging from 0.084 to 0.241. Matrices of pairwise Pearson correlations were compiled for each animal, along with a scatter plot of rumen pH and temperature for the two breeds with regression lines. An ontological model was constructed with a pH forecast for the next hour with a coefficient of determination $R^2 = 0.89$. For classifying the risk of subacute ruminal acidosis, the discrimination ability of the classification model was estimated at 0.975. The study examined and implemented an ontological model of the rumen biocenosis, reliably assessed differences in pH between the Aberdeen Angus and the Yakuting breeds, and determined the correlation of temperature with pH. The developed ontological model demonstrated high accuracy in predicting pH changes and classifying the risk of subacute ruminal acidosis.

Cattle, bolus sensor, health monitoring, gastrointestinal tract, rumen, ontological model.

REFERENCES

- Alzahal O. et al. (2009). Telemetric monitoring of ruminal temperature as core body temperature indicator. *Journal of Dairy Science*, 92, 5500–5505. DOI: 10.3168/jds.2009-2220
- Astakhova D.P., Ryadchikov V.G., Dushkin E.V. (2015). The main causes, forms of control, and manifestations of acidosis. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*, 9(118), 9–11 (in Russian).

- Džermeikaitė K., Bačėninaitė D., Antanaitis R. (2023). Innovations in cattle farming: Application of innovative technologies and sensors in the diagnosis of diseases. *Animals*, 13(5), 780. DOI: 10.3390/ani13050780
- Enemark J.M.D. (2008). The monitoring, prevention and treatment of SARA: A review. *Veterinary Journal*, 176, 32–43. DOI: 10.1016/j.tvjl.2007.12.021
- Hajnal É., Kovács L., Vakulya G. (2022). Dairy cattle rumen bolus developments with special regard to the applicable artificial intelligence (AI) methods. *Sensors*, 22(18), 6812. DOI: 10.3390/s22186812
- Iyldyrym E.A., Laptev G.Yu., Il'ina L.A. et al. (2020). Taxonomic and functional characteristics of the rumen microbiota of lactating cows under the influence of the probiotic Cellobacterin+. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 55(6), 1204–1219. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.6.1204rus (in Russian).
- Liang D. et al. (2017). Estimating US dairy clinical disease costs with stochastic simulation. *Journal of Dairy Science*, 100, 1472–1486. DOI: 10.3168/jds.2016-11565
- Lobachevskii Ya.P., Dorokhov A.S. (2021). Digital technologies and robotic technical equipment for agriculture. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii*, 15(4), 6–10. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10 (in Russian).
- Pereira G.M., Sharpe K.T., Heins B.J. (2021). Evaluation of the RumiWatch system as a benchmark to monitor feeding and locomotion behaviors of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(3), 3736–3750. DOI: 10.3168/jds.2020-18952
- Petrovski K.R., Cusack P., Malmo J., Cockcroft P. (2022). The value of “cow signs” in the assessment of the quality of nutrition on dairy farms. *Animals*, 12(11), 1352. DOI: 10.3390/ani12111352. EDN: ETRBTU
- Plaizier J.C., Krause D.O., Gozho G.N., McBride B.W. (2008). Subacute ruminal acidosis in dairy cows. *Veterinary Journal*, 176, 21–31. DOI: 10.1016/j.tvjl.2007.12.016
- Sheida E.V. (2022). Studying the effect of various additives on enzymatic processes in the rumen and the taxonomic composition of the microbiome. *Agrarnyi vestnik Urala*, 3(218), 72–82. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-218-03-72-82 (in Russian).
- Vladimirov F.E., Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu. (2019). Studying the pH and temperature of the rumen to diagnose acidosis in dairy cows after calving. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*, 4(36), 196–199 (in Russian).
- Zebeli Q., Metzler-Zebeli B.U. (2012). Interplay between rumen digestive disorders and diet-induced inflammation. *Research in Veterinary Science*, 93, 1099–1108. DOI: 10.1016/j.rvsc.2012.02.004
- Zhang F. [et al.]. (2024). Research Advances and Prospect of Intelligent Monitoring Systems for the Physiological Indicators of Beef Cattle. *Smart Agriculture*, 6(4), 1–17 (in Chinese). DOI: 10.12133/j.smart-ag.SA202312001

Information about the authors

Sergey S. Yurochka – Candidate of Sciences (Engineering), Senior Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutsky Lane, Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: yssvim@yandex.ru)

Fedor E. Vladimirov – Candidate of Sciences (Engineering), Senior Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutsky Lane, Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: fvladimirov21@gmail.com)

Artem R. Khakimov – Candidate of Sciences (Engineering), Senior Researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutsky Lane, Moscow, 109428, Russian Federation; e-mail: arty.hv@gmail.com)