

## Сравнение внутрирубцовых систем мониторинга физиологического состояния крупного рогатого скота

**Федор Евгеньевич Владимиров**,  
научный сотрудник,  
e-mail: fvladimirov21@gmail.com;

**Савр Олегович Базаев**,  
кандидат сельскохозяйственных наук,  
научный сотрудник, e-mail: sbzaeff@yandex.ru;

**Артем Рустамович Хакимов**,  
младший научный сотрудник,  
e-mail: arty.hv@gmail.com

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Отметим, что для раннего выявления подострого ацидоза рубца может использоваться метод, основанный на постоянном контроле за уровнем кислотности рубцового содержимого с помощью беспроводных датчиков *pH*. Основными требованиями к таким устройствам являются надежная работа и точность измерения. (*Цель исследования*) Определить функциональность и точность датчиков *eBolus* (США) и *BoviSan* (Россия, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) в течение заявленного срока службы 150 дней. (*Материалы и методы*) Трём дойным коровам с фистулой рубца на 154 дня вводили по два болюса от каждого производителя. В первый день измерений болюсы после активации и калибровки выдерживали последовательно в буферных растворах с *pH* 4 и *pH* 7 при регулируемой температуре (39 градусов Цельсия) не менее 2 часов. Через каждые 14 дней болюсы извлекались из рубца и повторно тестировались в буферных растворах. (*Результаты и обсуждение*) Средний срок службы *eBolus* составил 82 дня (от 28 до 126 дней). В сравнении с ними болюсы *BoviSan* регистрировали *pH* в течение всего заявленного срока службы. Доверительный интервал 95% средней разницы *pH* для болюсов *eBolus* (от  $-0,02$  до  $0,19$ ) не показал систематической ошибки. У *BoviSan* доверительный интервал средней разницы предполагает систематическое отрицательное смещение *pH* (от  $-0,33$  до  $-0,25$ ). (*Выводы*) Для реального использования болюсы *eBolus* должны работать более надежно, а болюсы *BoviSan* должны обеспечивать более высокую точность измерения.

**Ключевые слова:** коровы, содержимое рубца, датчик *pH*, болюсы, *eBolus*, *BoviSan*.

**■ Для цитирования:** Владимиров Ф.Е., Базаев С.О., Хакимов А.Р. Сравнение внутрирубцовых систем мониторинга физиологического состояния крупного рогатого скота // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N2 . С. 35-39. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-2-35-39. EDN PAYILH.

## Comparison of In-Rumen Systems for Monitoring the Physiological State of Cattle

**Fedor E. Vladimirov**,  
researcher, e-mail: fvladimirov21@gmail.com;

**Savr O. Bazaev**,  
Ph.D.(Eng.), researcher, e-mail: sbzaeff@yandex.ru;

**Artem R. Khakimov**,  
junior researcher, e-mail: arty.hv@gmail.com

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** This paper explores a method for the early detection of subacute rumen acidosis through continuous monitoring of rumen content acidity using wireless *pH* sensors. The study emphasizes the importance of reliable device operation and measurement accuracy as primary requirements for such devices. (*Research purpose*) This study aims to evaluate the functionality and accuracy of the *eBolus* (USA) and *BoviSan* (Russia, FSBSI FSAC VIM) sensors throughout their declared service life of 150 days. (*Materials and methods*) Three dairy cows with a rumen fistula were administered two boluses from each manufacturer during a period of 154 days. In order to ensure accurate measurements, the boluses were activated and calibrated prior to use. On the first day of data collection, the activated and calibrated boluses were sequentially immersed in buffer solutions with a *pH* of 4 and *pH* of 7. The buffer solutions were maintained at a controlled temperature of 39 degrees Celsius for a minimum of 2 hours. At 14-day intervals, the boluses were extracted from the rumen and subjected to retesting in buffer solutions. (*Results and discussion*) For *BoviSan*, the confidence interval for the mean difference suggests a systematic negative *pH* bias ( $-0.33$  to  $-0.25$ ). The average lifespan of the *eBolus* was determined to be 82 days, with a range of 28 to 126 days. In contrast, *BoviSan* boluses consistently recorded *pH* levels throughout their announced lifespan. Statistical analysis of the data revealed a 95% confidence interval for the mean *pH*

difference of the eBolus boluses ( $-0.02$  to  $0.19$ ), indicating no significant bias. Conversely, the confidence interval for the mean difference in pH for BoviSan suggested a consistent negative bias ( $-0.33$  to  $-0.25$ ). (*Conclusions*) In practical applications, it is essential to ensure enhanced reliability of eBolus boluses, while prioritizing higher measurement accuracy with BoviSan boluses.

**Keywords:** cows, rumen contents, pH sensor, boluses, eBolus, BoviSan.

**For citation:** Vladimirov F.E., Bazaev S.O., Khakimov A.R. Svravnenie vnutrirubtsovykh sistem monitoringa fiziologicheskogo sostoyaniya krupnogo rogatogo skota [Comparison of in-rumen systems for monitoring the physiological state of cattle]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N2. 35-39 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-2-35-39. EDN PAYILH.

Применение богатых злаками кормовых рационов с высоким содержанием углеводов может привести к ухудшению состояния желудочно-кишечного тракта коров и развитию подострого ацидоза рубца (ПАР) [1, 2]. Закисление содержимого рубца происходит в результате сдвига реакции среды в область низких значений показателя pH. Ацидоз может вызвать даже легкоусвояемый плевел. Как показали измерения pH рубца, ацидоз возникает преимущественно на выпасе молочного стада [3, 4]. В результате нарушается усвояемость питательных веществ, изменяется нормофлора желудочно-кишечного тракта, снижаются его абсорбционные и барьерные функции [1]. ПАР может спровоцировать развитие других патологий, в том числе влияющих на репродуктивные функции животного [5, 6]. Поскольку признаки ПАР малозаметны и часто проявляются не сразу после провоцирующего события, его диагностика затруднена [7]. Для подтверждения ацидоза помимо клинического осмотра животных требуется проанализировать данные в программе управления стадом и проверить качество корма. На pH рубца также оказывает влияние время суток и время года [8].

Диагноз, основанный только на показателе pH содержимого рубца, неточен [4]. Тем не менее, непрерывный мониторинг кислотности может способствовать обнаружению ПАР и позволит на ранних стадиях выявлять ацидоз у животных из группы риска и своевременно адаптировать кормовой рацион и/или систему управления кормлением [9].

Беспроводные датчики pH могут служить полезным инструментом для выявления ПАР при условии их надежной работы и точности измерений за определенный период. Для проверки заявленных производителем характеристик датчиков pH в течение декларируемого срока службы 150 дней проведены испытания на базе фермы ООО «Бородулинское» (Свердловская область).

**Цель исследования** – оценить и сравнить качество работы беспроводных датчиков pH содержимого рубца eBolus (США) и BoviSan (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Россия).

**Материалы и методы.** Экспериментальные процедуры были одобрены Этическим советом ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Для оценки использовались по шесть новых болусов eBolus и BoviSan. Были выбраны три

фистулированные коровы голштинской породы 3-й и 4-й лактации со средней живой массой  $718 \pm 29,9$  кг. В среднем коровы производили  $27,2 \pm 4,2$  кг молока в сутки. В рубцовом отделе желудка коров в течение 154 дней с февраля по июль 2022 года были установлены по два болуса eBolus и BoviSan. Животные содержались в помещении без привязи, в начале исследования они получали кормовую смесь, состоящую из травяного силоса, кукурузного силоса и сена, а с мая коров частично выводили на пастбища. Кормовой рацион дополнялся концентратами для покрытия расчетной потребности лактирующих коров в питательных веществах.

В первый день исследования болусы после активации и калибровки в соответствии с инструкциями производителей помещали в буферный раствор с контролируемой температурой и pH 4 не менее чем на 2 часа. Эту процедуру повторяли с буферным раствором pH 7. Затем болусы устанавливали в удерживающее устройство, прикрепленное шнуром к пробке фистулы, и вводили животным в рубец. Перед каждым выдерживанием в буферных растворах болусы тщательно промывали деминерализованной водой. Проверку болусов в буферных растворах pH 4 и 7 повторяли через 14 дней. До и после контрольного тестирования буферность растворов определяли pH-метром HI98128 (Hanna Instruments Inc., Smithfield, США, погрешность 0,01), выдерживая их в водяной бане. Средняя температура буферных растворов, измеренная с помощью болусов BoviSan, составила  $(39 \pm 1,2)$  °C. Во время контрольных измерений особое внимание уделялось хранению в жидкости извлеченных из рубца болусов при 39°C во избежание их высыхания.

Для статистического анализа разницы pH между измерениями болусов и буферными растворами использовалось программное обеспечение R Project [10]. Графики Бланда-Альтмана, критерий согласия Пирсона и 95% доверительный интервал (ДИ) среднего значения были построены на основе исследования Джавариной [11]. С целью более глубокой оценки данных BoviSan применялась линейная смешанная модель (R-пакет «lmerTest») [12]. Фиксированными факторами линейной смешанной модели были буферный раствор (pH 4 и 7) и даты испытаний. Всего проведено 11 испытаний, поскольку после 150 дней опыта измерение pH болусов BoviSan автоматически прекра-



шалось. Индивидуальные болюсы использовались как случайный фактор линейной смешанной модели.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Схема эксперимента была выбрана таким образом, чтобы болюсы находились в рубце в течение установленного срока службы и сравнительные измерения *pH* проводились с периодичностью один раз в две недели в стандартных условиях. Один из производителей испытуемых болюсов поставил под сомнение данный подход, но в исследованиях Шнейдера и др. (2010) при такой же схеме и значительно меньшей продолжительности измерения коэффициент корреляции между *pH* буферных растворов и показаниями датчика составил 0,998 [13]. Отметим, что в последующие годы устройства могли быть усовершенствованы, но тем не менее технические характеристики все равно необходимо подтверждать, особенно с учетом проблем при измерении *pH* без регулярной повторной калибровки датчиков.

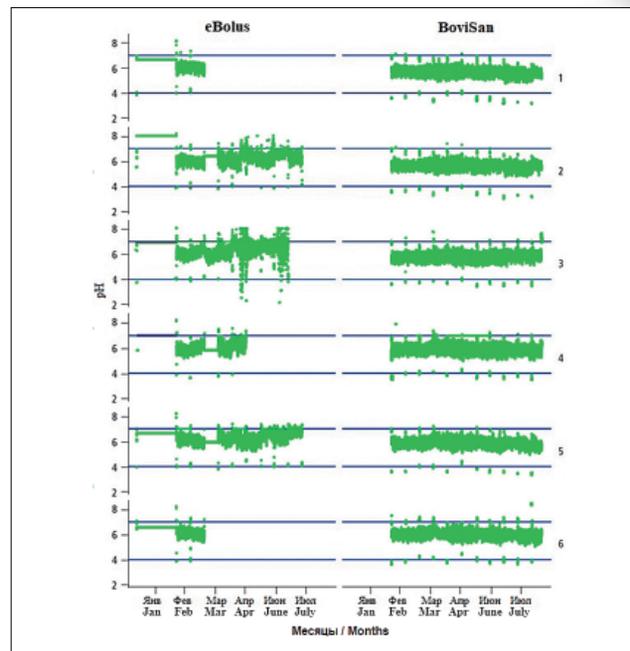
Средний срок службы шести болюсов *eBolus* за период эксперимента составил 82 дня, хотя два болюса проработали только 24 дня. Датчики *eBolus* были установлены в рубец в уже запущенном с середины января состоянии, а должны были оставаться в спящем режиме при температуре ниже 32°C и храниться при комнатной температуре до активации 22 февраля. Как видно из *рисунка 1*, они записывали данные раньше предусмотренного срока. Предположительно это происходило из-за ложных показаний температуры, которая все время до активации превышала 32°C.

Показания *eBolus* оператор считывал вручную специальным устройством. Всего отсутствовало 48% возможных измерений. В исследовании Меншинга и др. (2020) эти датчики работали более надежно, чем в нашем эксперименте. Тем не менее, у трех из 13 болюсов *eBolus* наблюдались значительные отклонения измерений *pH* примерно через 80 дней, и 14% (109 из 786 дней) среднесуточных значений были классифицированы как отклонение [14].

Напротив, все болюсы *BoviSan* регистрировали *pH* ровно 150 дней после начала эксперимента. Данные считывались автоматически через стационарную базовую станцию, установленную рядом с доильным залом.

Для буферных растворов различие между средними значениями *pH* эталонных измерений и показаниями *eBolus* или *BoviSan* составило соответственно 0,09 (±0,48) или -0,29 (±0,22). При этом доверительный интервал 95% средней разницы *pH* у *eBolus* (от -0,02 до 0,19) не указывал на систематическую ошибку. В случае датчиков *BoviSan* доверительный интервал средней разницы *pH* (от -0,33 до -0,25) предполагает систематическую отрицательную погрешность.

На *рисунке 2* изображены графики Бланда-Альтмана при испытаниях *eBolus* и *BoviSan* в буферных растворах. Существенные отклонения измерений датчиков *eBolus* привели к огромному диапазону совпадений, который был больше при тестировании буфер-



*Рис. 1. Измерения pH с болюсами eBolus и BoviSan. Синие линии соответствуют заявленным значениям pH буферных растворов, используемых во время искусственного понижения кислотности, цифры в правой части рисунка обозначают номера болюсов*

*Fig. 1. pH measurements with eBolus and BoviSan boluses. Blue lines correspond to the declared pH values of the buffers used during provocations, and the numbers on the right of the figure correspond to bolus numbers*

ным раствором *pH* 4, чем с *pH* 7. Диапазон совпадения болюсов *BoviSan* оказался меньше, но доверительный интервал средних различий указывает на систематическую недооценку значений *pH*.

В последующих исследованиях использовались только датчики *BoviSan*, поскольку слишком много измерений *eBolus* отсутствовали. На *рисунке 3* показаны среднее значение и стандартное отклонение различий между измерениями *pH* болюсов *BoviSan* и эталонным методом измерения *pH* буферных растворов в дни проведения тестов.

Точность измерения, указанная производителем (*BoviSan*, 2021), соблюдалась не для каждого болюса в течение всего периода испытаний. При тестировании буферным раствором *pH* 7, что ближе к оптимальному диапазону кислотности содержимого рубца, отклонения кажутся меньшими, чем при *pH* 4. Тем не менее, производитель указывает диапазон измерения *pH* от 3 до 9. Время нахождения болюса в буферном растворе негативно повлияло на точность, приведя к значительным различиям *pH* между эталонным методом и данными *BoviSan*, что демонстрирует важность калибровки каждого устройства перед введением болюса в рубец. Напротив, Шнейдер и др. обнаружили чрезвычайно высокий коэффициент корреляции ( $r = 0,998$ ) между *pH* буферных растворов и показаниями датчи-

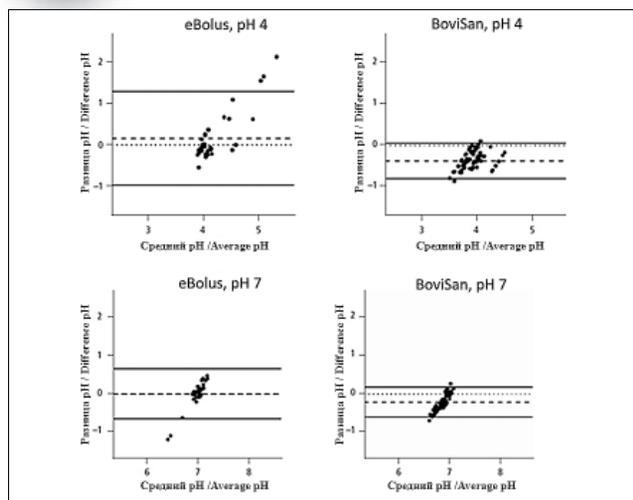


Рис. 2. Графики Бланда-Альтмана для болюсов eBolus и BoviSan при pH буферного раствора 4 и 7. Сплошные линии – нижний и верхний пределы совпадения, пунктирные линии – среднее значение различий pH

Fig. 2. Bland-Altman plots comparing ebolus and bovisan boluses with buffer pH4 and pH7. The solid lines indicate the lower and upper limits of agreement, and the dotted lines show the average value of the pH differences

ков до и после нахождения в рубце фистулированных животных [13]. В отличие от нашего исследования, болюсы калибровались после каждого использования и при необходимости обслуживались специалистом.

**Выводы.** Определено, что болюсы BoviSan более надежные, чем eBolus, у которых при испытаниях прерывалась связь. Точность измерения датчиков eBolus также выше, чем BoviSan. Для использования исследованных болюсов на животноводческих предприятиях их функциональность, качество показаний и измерений,

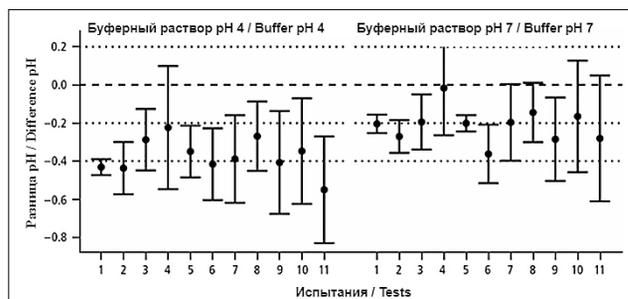


Рис. 3. Среднее значение и стандартное отклонение разницы между измерениями pH болюсов BoviSan (n=6) и эталонным методом измерения pH буферных растворов во время тестов. На оси x: 1 – контроль (1-й день опыта); 2 – провокация (искусственное снижение кислотности на 15-й день); ...; 11 – провокация на 141-й день. Пунктирными линиями отмечена точность измерения, указанная производителем:  $\pm 0,2$  до 90 дней и  $\pm 0,4$  от 90 до 150 дней

Fig. 3. Mean and standard deviation of pH differences between BoviSan boluses (n=6) and the reference method for buffer solution measurements during two-week tests. On x-axis: 1 – control on the 1st day; 2 – challenge on 15th day; ...; 11 – challenge on the 141st day. Dotted lines represent manufacturer-specified measurement accuracy:  $\pm 0.2$  up to 90 days and  $\pm 0.4$  from 90 to 150 days

надежность работы необходимо повысить, усовершенствовать алгоритмы работы устройств, использовать усиленную антенну для лучшей передачи сигнала, а также дополнить конструкцию защитным кожухом, который будет не только защищать внутренние элементы, но и направлять радиоволны в нужном направлении (усиливать сигнал). Болюсы должны не только работать надежнее и дольше 150 дней, заявленных производителями, но и стать доступнее по цене, чтобы их широкое применение на фермах было целесообразным.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Plaizier J.C., Danesh M.M., Derakhshani H., Golder H., Khafipour E., Kleen J.L., Lean I., Looor J., Penner G., Zebeli Q. Review: Enhancing gastrointestinal health in dairy cows. *Animal*. 2012. Vol. 12(2). 399-418.
2. Владимиров Ф.Е., Базаев С.О., Павкин Д.Ю., Юрочка С.С. Разработка методов и средств зоотехнического контроля в скотоводстве для управления физиологическим состоянием стада // *Главный зоотехник*. 2023. N1(234). С. 32-46.
3. Sato S., Ikeda A., Tsuchiya Y., Ikuta K., Murayama I., Kanehira M., Okada K., Mizuguchi H. Diagnosis of subacute ruminal acidosis (SARA) by continuous reticular pH measurements in cows. *Veterinary Research Communications*. 2012. Vol. 36. 201-205.
4. Enemark J.M.D. The monitoring, prevention and treatment of subacute ruminal acidosis (SARA): A review. *Veterinary Journal*. 2008. Vol. 176. 32-43.
5. O'Grady L., Doherty M.L., Mulligan F.J. Subacute ruminal acidosis (SARA) in grazing Irish dairy cows. *Veterinary Journal*. 2008. Vol. 176. 44-49.
6. Дорохов А.С., Кирсанов В.В., Владимиров Ф.Е. Температура и уровень pH рубца КРС как показатели вероятности репродуктивного успеха // *Вестник НГИЭИ*. 2019. № 6(97). С. 117-126.
7. Falk M., Munger A., Dohme-Meier F. Technical note: A comparison of reticular and ruminal pH monitored continuously with 2 measurement systems at different weeks in early lactation. *Journal of Dairy Science*. 2016. Vol. 99. 1951-1955.
8. Владимиров Ф.Е., Базаев С.О. Влияние времени суток и сезона года на температуру и pH содержимого рубца у крупного рогатого скота // *Главный зоотехник*. 2022. N12(233). С. 28-38.
9. Sato S., Kimura A., Anan T., Yamagishi N., Okada K., Mizuguchi H., Ito K. A radio transmission pH measurement system for continuous evaluation of fluid pH in the rumen of cows. *Veterinary Research Communications*. 2012. Vol. 36. 85-89.
10. R Core Team. (2021 April 13). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

11. Giavarina D. Understanding Bland Altman analysis. *Biochemia Medica*. 2015. Vol. 25(2). 141-151.
12. Kuznetsova A., Brockhoff P.B., Christensen R.H.B. lmerTest package: tests in linear mixed effects models. *Journal of Statistical Software*. 2017. Vol. 82(13). 1-26.
13. Schneider K., Gasteiner J., Guggenberger T., Urdl M., Steiner S., Neidl A., Linhart N., Baumgartner W. Comparative

- measurements on ruminal pH-value in cattle. *Berliner und Münchnertierärztliche Wochenschrift*. 2010. Vol. 123. 406-412.
14. Mensching A., Bünemann K., Meyer U., von Soosten D., Hummel J., Schmitt A.O., Sharifi A.R., Dänike A. Modeling reticular and ventral ruminal pH of lactating dairy cows using ingestion and rumination behavior. *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103(8). 7260-7275.

## REFERENCES

1. Plaizier J.C., Danesh M.M., Derakhshani H., Golder H., Khafipour E., Kleen J.L., Lean I., Looor J., Penner G., Zebeli Q. Review: Enhancing gastrointestinal health in dairy cows. *Animal*. 2012. Vol. 12(2). 399-418 (In English).
2. Vladimirov F.E., Bazaev S.O., Pavkin D.Yu., Yurochka S.S. Razrabotka metodov i sredstv zootekhnicheskogo kontrolya v skotovodstve dlya upravleniya fiziologicheskim sostoyaniem stada [Development of methods and means of livestock control in cattle breeding to manage the physiological state of the herd]. *Glavnyy zootekhnik*. 2023. N1(234). 32-46 (In Russian).
3. Sato S., Ikeda A., Tsuchiya Y., Ikuta K., Murayama I., Kanehira M., Okada K., Mizuguchi H. Diagnosis of subacute ruminal acidosis (SARA) by continuous reticular pH measurements in cows. *Veterinary Research Communications*. 2012. Vol. 36. 201-205 (In English).
4. Enemark J.M.D. The monitoring, prevention and treatment of subacute ruminal acidosis (SARA): A review. *Veterinary Journal*. 2008. Vol. 176. 32-43 (In English).
5. O'Grady L., Doherty M.L., Mulligan F.J. Subacute ruminal acidosis (SARA) in grazing Irish dairy cows. *Veterinary Journal*. 2008. Vol. 176. 44-49 (In English).
6. Dorokhov A.S., Kirsanov V.V., Vladimirov F.E. Temperatura i uroven' pH rubtsa KRS kak pokazateli veroyatnosti reproduktivnogo uspekha [Temperature and pH level of cattle as the indicators of probability of reproductive success]. *Vestnik NGIEI*. 2019. N6(97). 117-126 (In Russian).
7. Falk M., Münger A., Dohme-Meier F. Technical note: A comparison of reticular and ruminal pH monitored continuously with 2 measurement systems at different weeks in early lactation. *Journal of Dairy Science*. 2016. Vol. 99. 1951-1955 (In English).
8. Vladimirov F.E., Bazaev S.O. Vliyaniye vremeni sutok i sezona goda na temperaturu i pH soderzhimogo rubtsa u krupnogo rogatogo skota [Influence of the time of day and season of the year on temperature and pH of rumen in cattle]. *Glavnyy zootekhnik*. 2022. N12(233). 28-38 (In Russian).
9. Sato S., Kimura A., Anan T., Yamagishi N., Okada K., Mizuguchi H., Ito K. A radio transmission pH measurement system for continuous evaluation of fluid pH in the rumen of cows. *Veterinary Research Communications*. 2012. Vol. 36. 85-89 (In English).
10. R Core Team. (2021 April 13). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (In English).
11. Giavarina D. Understanding Bland Altman analysis. *Biochemia Medica*. 2015. Vol. 25(2). 141-151 (In English).
12. Kuznetsova A., Brockhoff P.B., Christensen R.H.B. lmer Test package: tests in linear mixed effects models. *Journal of Statistical Software*. 2017. Vol. 82(13). 1-26 (In English).
13. Schneider K., Gasteiner J., Guggenberger T., Urdl M., Steiner S., Neidl A., Linhart N., Baumgartner W. Comparative measurements on ruminal pH-value in cattle. *Berliner und Münchnertierärztliche Wochenschrift*. 2010. Vol. 123. 406-412 (In English).
14. Mensching A., Bünemann K., Meyer U., von Soosten D., Hummel J., Schmitt A.O., Sharifi A.R., Dänike A. Modeling reticular and ventral ruminal pH of lactating dairy cows using ingestion and rumination behavior. *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103(8). 7260-7275 (In English).

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Заявленный вклад соавторов:

Владимиров Ф.Е. – формулирование основных направлений исследования, проведение экспериментального исследования, формирование текста;

Базаев С.О. – литературный анализ, проведение экспериментального исследования, обработка результатов исследования;

Хакимов А.Р. – литературный анализ, обработка результатов исследования, формирование текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

03.04.2023

24.05.2023

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

### Coauthors' contribution:

Vladimirov F.E. – formulating the main research directions, conducting an experimental study, working on the paper manuscript;

Bazaev S.O. – literature review, conducting an experimental study, processing the research findings;

Khakimov A.R. – literature review, processing the research findings, working on the paper manuscript.

The authors read and approved the final manuscript.