

## НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ И КОРМОПРОИЗВОДСТВЕ

Научная статья

УДК 636.5:636.085.57

doi:10.33284/2658-3135-107-2-13

### Органоминеральный комплекс на основе ультрадисперсных кремнийсодержащих частиц, как модулятор микробиома желудочно-кишечного тракта крупного рогатого скота

Айна Маратовна Камирова<sup>1</sup>, Елена Анатольевна Сизова<sup>2,6</sup>, Анастасия Павловна Иванищева<sup>3</sup>, Даниил Евгеньевич Шошин<sup>4,7</sup>, Елена Владимировна Яушева<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

<sup>6,7</sup>Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

<sup>1</sup>ayna.makaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8223>

<sup>2,6</sup>sizova.178@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

<sup>3</sup>nessi255@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8264-4616>

<sup>4,7</sup>daniilshoshin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3086-681X>

<sup>5</sup>vasilena56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1589-2211>

**Аннотация.** Органические кислоты и ультрадисперсные частицы (УДЧ), в особенности металлической природы, находят всё большее применение в сельском хозяйстве как удобрения и компоненты кормовых добавок. На данный момент востребованы детальные исследования для подтверждения безопасности и актуальности применения их в кормлении животных. Целью данного исследования было определение влияния органоминерального комплекса на основе УДЧ SiO<sub>2</sub> и янтарной кислоты (ЯК) на особенности рубцового и кишечного микробиома и морфобиохимические показатели крови. Анализ бета-разнообразия показал наличие значимого влияния применения УДЧ SiO<sub>2</sub> и ЯК в рационе на организацию бактериальных сообществ в микробиоме рубцовой жидкости в сравнении с контролем. Показано увеличение в микробиоме рубца филумов *Bacteroidota*, *Pseudomonadota* и *Bacillota*. Микробиом толстого кишечника бычков был населён большей частью филумами *Bacteroidota* (40,8 %), *Bacillota* (49,3 %) и *Verrucomicrobiota* (4,41 %). На уровне рода многочисленными являлись следующие таксоны: *Bacteroides*, *Phocaeicola*, *Paludibacter*. Сравнение индексов альфа-разнообразия показало, что применение УДЧ SiO<sub>2</sub> и ЯК приводит к увеличению значений показателя Шао-1, что может свидетельствовать о большем количестве видов в микробиоте толстого кишечника в сравнении с контролем. Значение морфобиохимических показателей сыворотки крови в эксперименте демонстрирует наличие колебаний в рамках физиологических.

**Ключевые слова:** бычки, казахская белоголовая порода, кормление, ультрадисперсные частицы, янтарная кислота, рубцовая жидкость

**Благодарности:** работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации № 075-15-2022-682/1.

**Для цитирования:** Органоминеральный комплекс на основе ультрадисперсных кремнийсодержащих частиц, как модулятор микробиома желудочно-кишечного тракта крупного рогатого скота / А.М. Камирова, Е.А. Сизова, А.П. Иванищева, Д.Е. Шошин, Е.В. Яушева // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 2. С. 13-26. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-2-13>

Original article

**The organic mineral complex based on ultrafine silicon-containing particles as a microbiome modulator of gastrointestinal tract of cattle**

**Aina M Kamirova<sup>1</sup>, Elena A Sizova<sup>2,6</sup>, Anastasia P Ivanishcheva<sup>3</sup>, Daniil E Shoshin<sup>4,7</sup>,  
Elena V Yausheva<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

<sup>6,7</sup>Orenburg State University, Orenburg, Russia

<sup>1</sup>ayna.makaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8223>

<sup>2,6</sup>sizova.178@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

<sup>3</sup>nessi255@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8264-4616>

<sup>4,7</sup>daniilshoshin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3086-681X>

<sup>5</sup>vasilena56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1589-2211>

**Abstract.** Organic acids and ultrafine particles (UFPs), especially of a metallic nature, are increasingly being used in agriculture as fertilizers and components of feed additives. At the moment, detailed studies are in demand to confirm the safety and relevance of their use in animal feeding. The purpose of this study was to determine the effect of an organomineral complex based on SiO<sub>2</sub> UDP and succinic acid (SA) on the characteristics of the rumen and intestinal microbiome and morphobiochemical blood parameters. The analysis of  $\beta$ -diversity showed the presence of a significant effect of the use of UFP SiO<sub>2</sub> and SA in the diet on the organization of bacterial communities in the microbiome of rumen fluid, in comparison with the control. An increase in the phylum *Bacteroidota*, *Pseudomonadota* and *Bacillota* in the microbiome of the rumen has been shown. The microbiome of the large intestine of bulls was inhabited mostly by the phylum *Bacteroidota* (40.8%), *Bacillota* (49.3%) and *Verrucomicrobiota* (4.41%). At the genus level, the following taxa were numerous: *Bacteroides*, *Phocaicola*, *Paludibacter*. Comparison of  $\alpha$ -diversity indices showed that the use of UFP SiO<sub>2</sub> and SA leads to an increase in the values of the Chao-1 index, which may indicate a greater number of species in the microbiota of the large intestine, compared with the control. The value of morpho-biochemical parameters of blood serum in the experiment demonstrates the presence of fluctuations within the physiological framework.

**Keywords:** bulls, Kazakh white-headed breed, feeding, ultrafine particles, succinic acid, ruminal fluid

**Acknowledgments:** the work was carried out with the financial support of the grant of the President of the Russian Federation, Project No. 075-15-2022-682/1.

**For citation:** Kamirova AM, Sizova EA, Ivanishcheva AP, Shoshin DE, Yausheva EV. The organic mineral complex based on ultrafine silicon-containing particles as a microbiome modulator of gastrointestinal tract of cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(2):13-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-2-13>

**Введение.**

Сбалансированное питание, включающее достаточное количество белка, энергии, витаминов и минералов, является одним из столпов достижения оптимального состояния здоровья в мясном скотоводстве. Минеральное питание играет решающую роль в обеспечении здоровья и продуктивности (Snowder GD et al., 2006). Имея ключевую необходимость для обеспечения биологических процессов, их требуемое количество, как правило, минимально. Примерами таких процессов является формирование неспецифической резистентности, проявление антиоксидантных свойств, а также анаболизм и катаболизм веществ (Galyean ML et al., 1999).

В условиях современного промышленного скотоводства перспективным подходом является применение комплексных поликомпонентных кормовых добавок, обеспечивающих интенсификацию разнопрофильных обменных реакций (Sizova E et al., 2020). Определённым различием в проявлении активности может быть их форма (Сизова Е.А. и др., 2020; Макаева А et al., 2020; Ивани-

щева А.П. и др., 2023). Использование измельчения и ультрадисперсных форм элементов способствует лучшему раскрытию функциональных свойств. Применение ультрадисперсных форм кремния в промышленности, биомедицине, пищевых продуктах и защите окружающей среды чрезвычайно перспективно, поскольку они обладают хорошей стабильностью, превосходной биосовместимостью и простотой модификации (Xu L et al., 2014; Сизова Е.А. и др. 2024; Иванищева А.П. и Камирова А.М. 2023), большим потенциалом для широкого применения в контролируемой доставке лекарств (Li RG et al., 2012), медицинской диагностике (Chen Y et al., 2012).

В качестве функциональных стимуляторов в последние годы активно исследуются дикарбоновые кислоты и их производные (Трунов М.А., 2000). Несколько исследований продемонстрировали, что органические кислоты улучшают перевариваемость белка и аминокислот в подвздошной кишке (Partanen K et al., 2007), что связано со снижением pH желудка и повышением активности протеолитических ферментов. Также они могут создавать более благоприятную среду для лактобацилл, что полезно для роста и здоровья животных (Ahmed ST et al., 2014). Также продемонстрировано, что органические кислоты улучшают показатели роста и усвояемость питательных веществ (Xu YT et al., 2018; Long SF et al., 2018).

Янтарная является одной из важных органических кислот. Данная кислота принимает участие в биохимических реакциях, повышает продуктивный рост животных, а также устойчивость организма (Папуниди К.Х. и др., 2022).

#### **Цель исследования.**

Определить влияние органоминерального комплекса на основе УДЧ SiO<sub>2</sub> и ЯК на особенности рубцового и кишечного микробиома и морфобиохимических показатели крови.

#### **Материалы и методы исследования.**

**Объект исследования.** Бычки казахской белоголовой породы.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств «Об обращении с животными», ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), Руководство по работе с лабораторными животными ([http://fncbst.ru/?page\\_id=3553](http://fncbst.ru/?page_id=3553)). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

**Схема эксперимента.** На первом этапе (эксперимент *in vitro*) был изучен микробиом рубцовой жидкости крупного рогатого скота с учётом использования УДЧ SiO<sub>2</sub> и ЯК на модели «искусственного рубца» с использованием установки-инкубатора «АНКОМ Daisy II». Рубцовую жидкость отбирали в 3-литровую банку через хроническую фистулу (d=80 мм, ANKOM Technology Corporation, США). Транспортировку осуществляли в течение 30 минут, поддерживая температурный режим +38,5...+39,5 °С. Перед использованием рубцовую жидкость тщательно встряхивали и процеживали через 4 слоя марли. Исследовались ранее выявленные дозировки: для УДЧ SiO<sub>2</sub> – 7,51 мг/кг корма; ЯК – 30 мг/кг корма.

В качестве модельного корма были использованы пшеничные отруби (ПО) в натуральном виде. Навески измельчённых воздушно-сухих пшеничных отрубей массой 0,5 грамм и исследуемые кормовые добавки соответствующих дозировок помещали в герметичные полиэфирные мешочки, предварительно высушенные до постоянной массы, и закладывали в банки, заливали рубцовой жидкостью с фосфатным буфером в соотношении 1:4, закрывали крышками и выдерживали в термостате при t=+39 °С. По окончании инкубации образцы рубцовой жидкости использовали для дальнейших исследований.

Пробы помещали в стерильные микропробирки с защёлкивающейся крышкой типа «эппендорф» (NuovaAptaca S.R.L., Италия), замораживали при -70 °С (криоморозильник ULUF65 «ARCTICO», Дания) и хранили для дальнейшего метагеномного секвенирования. Расчёт индексов альфа- и бета-разнообразия был реализован с помощью Microbiome Analyst (Iannotti LL, 2018).

На втором этапе (эксперимент *in vivo*) выполнены исследования по оценке морфобиохимических показателей крови при введении в рацион УДЧ SiO<sub>2</sub> и ЯК на жвачных животных (крупный рогатый скот) в Оренбургской области, село Пруды, СПК Гринцова С.Ф. Для проведения физиологического опыта методом пар-аналогов были подобраны бычки казахской белоголовой породы (n=3) средней массой 320±8,3 кг и возрастом 13 месяцев по живой массе, общему состоянию, породе и возрасту. Животные были случайным образом разделены на группы: контрольную (К) и опытную – УДЧ SiO<sub>2</sub>+ЯК (7,51+30 мг/кг корма). Рацион включал сено злаковое (1 кг), сено бобовое (2 кг), силос кукурузный (9,5 кг), дроблёную зерносмесь (2 кг), жмых подсолнечный (0,1 кг), патоку кормовую (0,6 кг), соль поваренную (37 г), монокальцийфосфат (47,7 г) и премикс (20 г). В течение эксперимента (подготовительный период – 5 дней, учётный период – 5 дней) бычки были переведены на привязное содержание, индивидуальное кормление. Кровь бралась из хвостовой вены от всех животных утром до кормления.

**Оборудование и технические средства.** Исследование проводилось на базе центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве» и Центра коллективного пользования ФНЦ БСТ РАН (<http://цкп-бст.рф>). Определение гематологических параметров крови производилось на автоматическом гематологическом анализаторе DF50 для ветеринарии («Dumind Biotech», Китай). Биохимический анализ крови осуществлялся при помощи автоматического биохимического анализатора CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd.», Китай).

**Статистическая обработка.** Рассчитывали среднее (M), среднеквадратичное отклонение (±σ), стандартную ошибку (±SE). Результаты, полученные для экспериментальной группы, сравнивали с контрольной группой для определения статистической значимости с использованием t-критерия Стьюдента с уровнем статистической значимости P≤0,05-0,001.

#### Результаты исследований.

*Таксономическая характеристика микробиома содержимого рубца.* Использование УДЧ SiO<sub>2</sub> и ЯК не способствовало существенным изменениям бактериального состава микробиома рубцовой жидкости на уровне филумов. В микробиоме опытных образцов, как и в контроле, многочисленными были филумы *Bacteroidota*, *Pseudomonadota* и *Bacillota*. На уровне классов в таксономическом составе микробиома было отмечено снижение доли бактерий *Bacteroidia*, *Sphingobacteriia* и *Gammaproteobacteria* на 7,35, 3,78 и 2,63 % соответственно относительно контроля. На уровне родов основные изменения в микробиоме были связаны со снижением доли бактерий *Lentimicrobium* и *Acinetobacterna* на 3,57 и 2,67 %.

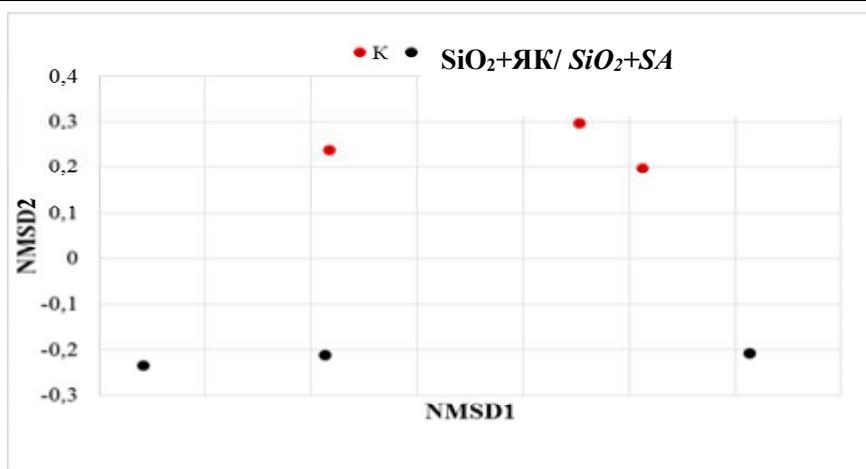
Индекс альфа-разнообразия позволил оценить богатство, однородность и равномерность распределения доли таксонов в микробиоте рубцовой жидкости. Однако анализ индексов не показал значимых различий между группами (табл. 1).

Таблица 1. Индексы альфа-разнообразия микробиоты рубцовой жидкости  
(эксперимент *in vitro*)

Table 1. Indices of alpha diversity of the microbiota of ruminal fluid (*in vitro* experiment)

Показатель / <i>Indicator</i>	Группа / <i>Group</i>		P-value
	контрольная / <i>control</i>	опытная / <i>experimental</i>	
Chao-1	416,3±45,5	413,7±51,2	0,98
Simpson (1-D)	0,79±0,08	0,79±0,05	0,95
Shannon	4,66±1,3	4,44±1,07	0,91

Анализ бета-разнообразия показал наличие значимого влияния применения УДЧ SiO<sub>2</sub> и ЯК в рационе на организацию бактериальных сообществ в микробиоме рубцовой жидкости в сравнении с контролем (рис. 1).



Примечание: К – контроль, SiO<sub>2</sub>+ЯК/ SiO<sub>2</sub>+SA – опытная группа

Note: К – control, SiO<sub>2</sub>+ЯК/ SiO<sub>2</sub>+SA – experiment

Рисунок 1. Бета-разнообразие микробиты рубцовой жидкости исследуемых групп с использованием статистического метода PERMANOVA, не метрического многомерного масштабирования и несходства Брея-Кертиса ( $p=0,5$ ) (эксперимент *in vitro*) ( $n=3$ )  
Figure 1. Beta diversity of the microbiota of ruminal fluid of the studied groups using the statistical method of PERMANOVA, non-metric multidimensional scaling and the Bray-Curtis dissimilarity ( $p=0.5$ ) (*in vitro* experiment) ( $n=3$ )

Таксономическая характеристика кишечного микробиома на фоне применения минерального комплекса (эксперимент *in vivo*). Анализ таксономического состава микробиома толстого кишечника бычков показал, что большая часть идентифицированных бактерий относилась к филумам *Bacteroidota* (40,8 %), *Bacillota* (49,3 %) и *Verrucomicrobiota* (4,41 %). Основными таксонами на уровне класса являлись *Bacteroidia* (31,0 %), *Sphingobacteriia* (7,71 %), *Clostridia* (47,7 %) и *Verrucomicrobiae* (3,50 %). Среди многочисленных семейств были отмечены *Bacteroidaceae* (11,8 %), *Paludibacteraceae* (4,87 %), *Prevotellaceae* (4,37 %), *Rikenellaceae* (4,62 %), *Sphingobacteriaceae* (7,71 %), *Oscillospiraceae* (22,4 %), *Akkermansiaceae* (3,50 %). На уровне рода многочисленными являлись следующие таксоны: *Bacteroides*, *Phocaeicola*, *Paludibacter*, *Paraprevotella*, *Parapedobacter*, *Alistipes*, *Intestinimonas*, *Clostridium\_IV*, *Akkermansia*, *Eubacterium*, *Acetivibrio*, относительная численность каждого из которых составляла 2-11 % от общего числа.

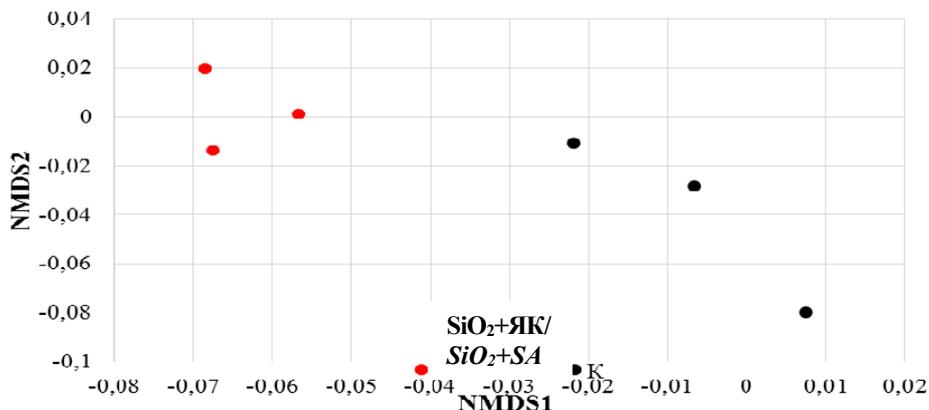
Комплекс УДЧ SiO<sub>2</sub> и ЯК способствовал увеличению доли бактерий таксона *Bacillota* (+8,39 %) в микробиоме в сравнении с контролем. В рамках таксона *Bacillota* относительно контроля отмечалась более высокая относительная численность бактерий таксонов *Clostridia* (+7,93 %) и *Oscillospiraceae* (+5,35 %). Несмотря на отсутствие значимых изменений доли бактерий филума *Bacteroidota*, было отмечено изменение доли таксонов *Sphingobacteriia* (–5,59 %) и *Flavobacteriia* (+6,80 %) в микробиоме толстого кишечника животных опытной группы в сравнении с контролем.

Расчёт индексов Chao-1, Simpson (1-D), Shannon показал высокое биоразнообразие и равномерность распределения доли таксонов в микробиоте толстого кишечника. Сравнение индексов альфа-разнообразия показало, что использование опытной добавки приводит к увеличению значений показателя Chao-1, что возможно говорит о большем количестве родов в микробиоценозе толстого кишечника, в сравнении с контролем (табл. 2).

Таблица 2. Индексы альфа-разнообразия микробиоты толстого кишечника (эксперимент *in vivo*)  
Table 2. Indices of alpha diversity of the microbiota of the large intestine (*in vivo* experiment)

Показатель / <i>Indicator</i>	Группа / <i>Group</i>		P-value
	контрольная / <i>Control</i>	опытная / <i>Experimental</i>	
Chao-1	460,3±11,7	513,7±13,6	0,016
Simpson(1-D)	0,98±0,003	0,98±0,03	0,14
Shannon	5,16±0,03	5,25±0,01	0,01

Оценка бета-разнообразия показала наличие значимого различия в микробиоте толстого кишечника животных обеих групп (рис. 2).



Примечание: К – контроль, SiO<sub>2</sub>+ЯК/ SiO<sub>2</sub>+SA – опытная группа

Note: К – control, SiO<sub>2</sub>+ЯК/ SiO<sub>2</sub>+SA – experiment

Рисунок 2. Бета-разнообразие микробиоты толстого кишечника исследуемых групп с использованием статистического метода PERMANOVA, не метрического многомерного масштабирования и несходства Брея-Кертиса (p=0,001) (эксперимент *in vivo*) (n=3)

Figure 2. Beta diversity of the large intestine microbiota of the studied groups using the statistical method of PERMANOVA, non-metric multidimensional scaling and Bray-Curtis dissimilarity (p=0.001) (*in vivo* experiment) (n=3)

Морфобиохимические показатели крови на фоне применения минерального комплекса (эксперимент *in vivo*). Изучение морфобиохимических показателей крови в эксперименте важно для оценки наличия колебаний значения показателей. Так, в опытной группе увеличивается количество базофилов, эритроцитов, гемоглобина и гематокрита на 12,5; 8,20; 1,90 и 12,9 % по сравнению с контролем. Однако количество лейкоцитов и тромбоцитов, напротив, снижается на 11,5 и 2,10 % относительно контрольной группы (табл. 3).

Таблица 3. Морфологические показатели крови подопытных животных (эксперимент *in vivo*)  
Table 3. Morphological parameters of the blood of experimental animals (*in vivo* experiment)

Показатель / Indicator	Группа / Group	
	контрольная / Control	опытная / Experimental
Количество лейкоцитов, 10 <sup>9</sup> /л / The number of white blood cells, 10 <sup>9</sup> /l	9,24±1,25	8,18±0,30
Доля нейтрофилов, % /The proportion of neutrophils, %	29,00±4,10	21,30±0,50*
Доля лимфоцитов, % /The proportion of lymphocytes, %	58,90±4,70	62,50±0,10
Доля моноцитов, % /The proportion of monocytes, %	7,50±0,20	8,60±1,30
Доля эозинофилов, % /The proportion of eosinophils, %	3,70±0,50	6,45±2,05
Доля базофилов, % /The proportion of basophils, %	0,90±0,10	1,15±0,35
Количество эритроцитов, 10 <sup>12</sup> /л / The number of red blood cells, 10 <sup>12</sup> /l	5,21±0,74	5,63±0,17
Концентрация гемоглобина, г/л / Hemoglobin concentration, g/l	102,50±6,50	104,50±6,50
Гематокрит, % /Hematocrit, %	21,70±2,70	24,50±1,40
Количество тромбоцитов, 10 <sup>9</sup> /л /Platelet count, 10 <sup>9</sup> /l	280,00±23,0	274,00±13,0

Примечание: \* – P≤0,05

Note: \* – P≤0.05

Было отмечено, что добавление УДЧ SiO<sub>2</sub> и ЯК повлияло на концентрацию сывороточного белка и альбумина, снижая их на 8,10 % и 5,20 % соответственно по сравнению с контролем. Показатель креатинина в опытной группе также снижался на 29,2 % по сравнению с контролем. Исследования показали, что применение УДЧ SiO<sub>2</sub> и ЯК в составе рациона влияет на жировой обмен. Так, к концу эксперимента концентрация триглицеридов увеличивается на 2,20 %, а холестерина снижается на 4,80 % относительно контроля. Показатели минерального обмена изменяются в ходе эксперимента. Так, концентрация кальция и железа снижается на 13,5 и 21,0 % на фоне применения кормовой добавки. Уровень фосфора, напротив, увеличивается на 0,40 % по сравнению с контрольной группой (табл. 4).

Таблица 4. Биохимические показатели крови подопытных животных (эксперимент *in vivo*)  
Table 4. Biochemical blood parameters of experimental animals (*in vivo* experiment)

Показатель / Indicator	Группа / Group	
	контрольная / Control	опытная / Experimental
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	77,2±4,55	70,9±4,01
Альбумин, г/л / Albumin, g/l	38,0±0,001	36,0±1,00*
Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, μmol/l	220,0±43,00	155,9±44,30
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/l	2,72±0,09	2,60±0,12
Триглицериды, ммоль/л / Triglycerides, mmol/l	1,85±0,04	1,89±0,01
Железо, мкмоль/л / Iron, μmol/l	35,0±1,20	27,5±0,25*
Кальций, ммоль/л / Calcium, mmol/l	1,89±0,11	1,63±0,22
Фосфор, ммоль/л / Phosphorus, mmol/l	2,37±0,10	2,40±0,42

Примечание: \* – P≤0,05

Note: \* – P≤0.05

#### Обсуждение полученных результатов.

Помимо обилия видов бактерий, рубец и кишечник считаются высокоразвитыми и разнообразными резервуарами микроорганизмов, способных разлагать растительный материал.

Экосистема рубца и кишечника животных представляет собой сложную и динамичную среду, населённую многочисленными микроорганизмами, включая бактерии, простейшие и грибы. Эти микроорганизмы находятся в тесных симбиотических взаимосвязях друг с другом и с хозяином в строго бескислородных (анаэробных) условиях (Pitta DW et al., 2010; Ozutsumi Y et al., 2005). В рубце животных обитает чрезвычайно разнообразное сообщество бактерий, насчитывающее сотни различных видов. Эти бактерии играют жизненно важную роль в разложении и ферментации растительного материала, что позволяет хозяину извлекать питательные вещества из сложных растительных волокон. Состав бактериального сообщества рубца может варьироваться в зависимости от типа потребляемой пищи, физиологического состояния хозяина и генетических факторов (McAllister TA et al., 1990). Также группы бактерий наиболее чувствительны к тем питательным веществам и пищевым добавкам, которые животные используют в своём рационе (Chen YH et al., 2011; Logachev K et al., 2015). Поэтому особенно важно учитывать бактериальный состав при изменении рациона сельскохозяйственных животных. Важным моментом является то, что пищевые добавки, используемые в рационе животных, были нетоксичны для микрофлоры, населяющей рубец и кишечник, и окружающей среды. Вот почему в этих исследованиях особое внимание уделяется изучению бактериального микробиоценоза крупного рогатого скота при кормлении органоминеральной добавки корма.

Толстый кишечник в основном состоял из филумов *Bacteroidota* (40,8 %), *Bacillota* (49,3 %) и *Verrucocomicrobiota* (4,41 %). Наиболее распространёнными классами в микробиоценозе являются

*Bacteroidia* (31,0 %), *Sphingobacteriia* (7,71 %), *Clostridia* (47,7 %) и *Verrucomicrobiae* (3,50 %). Введение в рацион животных минеральных добавок не приводило к значительным изменениям в составе микробиоценоза, что соответствует предыдущим исследованиям. Введение в рацион животных органо-минерального комплекса также не привело к существенным изменениям в микробиоценозе, но немного сместило баланс в пользу микроорганизмов, ответственных за наилучшую усвояемость корма (Karimov I et al., 2017; Williams K et al., 2015; Bagirov VA et al., 2018; Макаева А.М. и др., 2019).

Анализ морфобиохимических показателей крови говорит о том, что данная добавка оказывает положительное влияние на здоровье и метаболизм опытных животных. Таким образом, на введение органо-минеральной добавки в эксперименте не наблюдается воспалительных реакций, концентрация гемоглобина и гематокрита возрастает. Известно, что и для других ультрадисперсных форм достигнут эффект повышения гемоглобина (Ajdayr M et al., 2015; Logachev K et al., 2015). Уменьшение числа тромбоцитов на фоне введения добавок уменьшает перфузию по сосудам микроциркуляции. Аналогичные результаты описаны для других частиц (Fisinin VI et al., 2018; Shumakova AA et al., 2014).

Кремний способен стимулировать функциональную активность гранулоцитов и интенсифицировать метаболические процессы (Колбин И.А. и Колесников О.Л., 2010). Кроме того, исследование показывает способность кремния развивать моноциты и перитонеальные макрофаги, что приводит к высвобождению интерлейкина-1.

Креатинин, являющийся обезвоженной формой креатина, участвующей в энергетическом обмене в мышцах (Saraiva LA et al., 2014), снижается на фоне введения добавки по сравнению с контрольной группой, возможно, это связано с тем, что креатинин переходит в креатинфосфат, который затем поступает в мышцы в форме энергии, активизируя биохимические процессы (Mora L et al., 2007).

### Выводы.

Анализ бета-разнообразия показал наличие значимого влияния применения УДЧ SiO<sub>2</sub> и ЯК в рационе на организацию бактериальных сообществ в микробиоме рубцовой жидкости в сравнении с контролем. Показано увеличение в микробиоме рубца филумов *Bacteroidota*, *Pseudomonadota* и *Bacillota*. Микробиом толстого кишечника бычков был населён большей частью филумами *Bacteroidota* (40,8 %), *Bacillota* (49,3 %) и *Verrucomicrobiota* (4,41 %). На уровне рода многочисленными являлись следующие таксоны: *Bacteroides*, *Phocaeicola*, *Paludibacter*. Сравнение индексов альфа-разнообразия показало, что применение УДЧ SiO<sub>2</sub> и ЯК приводит к увеличению значений показателя Чhao-1, что может свидетельствовать о большем количестве видов в микробиоте толстого кишечника в сравнении с контролем. Значение морфо-биохимических показателей сыворотки крови в эксперименте демонстрирует наличие колебаний в рамках физиологических.

### Список источников

1. Включение экстракта *Quercus cortex* в рацион бройлеров изменяет их убойные показатели и биохимический состав мышечной ткани / В.А. Багиров, Г.К. Дускаев, Н.М. Казачкова, Ш.Г. Рахматуллин, Е.В. Яушева, Д.Б. Косян, Ш.А. Макаев, Х.Б. Дусаева // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 4. С. 799-810. [Bagirov VA, Duskaev GK, Kazachkova NM, Rakhmatullin ShG, Yausheva EV, Kosyan DB, Makaev ShA, Dusaeva KhB. Addition of *Quercus cortex* extract to broiler diet changes slaughter indicators and biochemical composition of muscle tissue. Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2018;53(4):799-810. (In Russ.). doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.799rus doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.799eng

2. Иванищева А.П., Камирова А.М. Влияние комплекса оксида кремния и янтарный кислоты на элементный состав рубцового содержимого жвачных животных // Мировые научные достижения в области естественных и технических наук: материалы X Междунар. науч.-практ.

конф. Рязань, 2023. С. 142-144. [Ivanishcheva AP, Kamirova AM. The effect of the complex of silicon oxide and succinic acid on the elemental composition of the scar contents of ruminants (Conference proceedings) World scientific achievements in the field of natural and technical sciences. Materials of the X International Scientific and Practical Conference. Ryazan'; 2023:142-144. (*In Russ.*)].

3. Изменение иммунологических и продуктивных показателей у цыплят-бройлеров под влиянием биологически активных веществ из экстракта коры дуба / В.И. Фисинин, А.С. Ушаков, Г.К. Дускаев, Н.М. Казачкова, Б.С. Нуржанов, Ш.Г. Рахматуллин, Г.И. Левахин // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 2. С. 385-392. [Fisinin VI, Ushakov AS, Duskaev GK, Kazachkova NM, Nurzhanov BS, Rakhmatullin ShG, Levakhin GI. Mixtures of biologically active substances of oak bark extracts change immunological and productive indicators of broilers. Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2018;53(2):385-392. (*In Russ.*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.385rus doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.385eng

4. Колбин И.А., Колесников О.Л. Фагоцитарная активность нейтрофильных гранулоцитов при воздействии наночастиц диоксида кремния // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2010. № 2-1(29). С. 36-37. [Kolbin I A, Kolesnikov OL. Fagocitarnaja aktivnost' nejtrofil'nyh granulocitov pri vozdeystvii nanochastic dioksida kremniya. Journal of Ural Medical Academic Science. 2010;2-1(29):36-37. (*In Russ.*)].

5. Кормовая добавка на основе кремния в рационе цыплят-бройлеров / Е.А. Сизова, К.В. Рязанцева, Л.Л. Мусабаева, К.С. Нечитайло, А.П. Иванищева, Е.А. Власов // Птица и птицепродукты. 2024. № 2. С. 36-39. [Sizova EA, Ryazantseva KV, Musabaeva LL, Nechitailo KS, Ivanishcheva AP, Vlasov EA Feed additive based on silicon in the diet of broiler chickens. Poultry and Poultry Products. 2024;2:36-39. (*In Russ.*)].

6. Макро- и микроэлементы в питании животных: многообразие веществ и форм / А.П. Иванищева, Е.А. Сизова, А.М. Камирова, Л.Л. Мусабаева, М.В. Соловьёв // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 2. С. 85-111. [Ivanishcheva AP, Sizova EA, Kamirova AM, Musabaeva LL, Solovyov MV. Macro- and microelements in animal nutrition: a variety of substances and forms. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(2):85-111. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-2-85

7. Научное обоснование применения янтарной кислоты и препаратов на ее основе (монография) / К.Х. Папуниди, Э.К. Папуниди, Л.Ф. Якупова, О.А. Грачева, А.Х. Волков, С.Ю. Смоленцев. Йошкар-Ола: Марийский гос. ун-т, 2022. 234 с. [Papunidi KH, Papunidi EK, Yakupova LF, Gracheva OA, Volkov AH, Smolentsev SY. Scientific justification of the use of succinic acid and preparations based on it (monograph). Yoshkar-Ola: Mari State University; 2022:234 p. (*In Russ.*)].

8. Перспективность использования ультрадисперсной формы металлов в кормлении животных / Е.А. Сизова, К.С. Нечитайло, А.П. Иванищева, Н.И. Рябов // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 3. С. 177-189. [Sizova EA, Nechitailo KS, Ivanishcheva AP, Ryabov NI. The prospects of using ultra-dispersed forms of metals in animal feeding. Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(3):177-189. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-177

9. Токсикологическая оценка наноструктурного диоксида кремния I. Интегральные показатели, аддукты ДНК, уровень тиоловых соединений и апоптоз клеток печени / А.А. Шумакова, Е.А. Арианова, В.А. Шипелин, Ю.С. Сидорова, А.В. Селифанов, Э.Н. Трушина, О.К. Мустафина, И.В. Сафенкова, И.В. Гмошинский, С.А. Хотимченко, В.А. Тутельян // Вопросы питания. 2014. Т. 83. № 3. С. 52-62. [Shumakova AA, Arianova EA, Shipelin VA, Sidorova YuS, Selifanov AV, Trushina EN, Mustafina OK, Safenkova IV, Gmoshinsky IV, Khotimchenko SA, Tutelyan VA. Toxicological assessment of nanostructured silica. I. Integral indices, adducts of DNA, tissue thiols and apoptosis in liver. Problems of Nutrition. 2014;83(3):52-62. (*In Russ.*)].

10. Трунов М.А. Действие и применение препарата ЯК-85 в птицеводстве: автореф. дис. канд. вет. наук. Краснодар, 2000. 15 с. [Trunov MA. Dejstvie i primeneniye preparata JaK-85 v pticevodstve: avtoref. dis. kand. vet. nauk. Krasnodar; 2000:15 p. (*In Russ.*)].

11. Элементный и микробиологический состав рубца при использовании в кормлении крупного рогатого скота высокодисперсных частиц / А.М. Макаева, К.Н. Атландерова, Е.А. Сизо-

- ва, С.А. Мирошников, В.В. Ваншин // *Животноводство и кормопроизводство*. 2019. Т. 102. № 3. С. 19-32. [Makaeva AM, Atlanderova KN, Sizova EA, Mirosnikov SA, Vanshin VV. The elemental and microecological composition of rumen after use of highly dispersive particles in cattle feeding. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2019;102(3):19-32. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-102-3-19
12. Ahmed ST, Hwang JA, Hoon J, Mun HS, Yang CJ. Comparison of single and blend acidifiers as alternative to antibiotics on growth performance, fecal microflora, and humoral immunity in weaned piglets. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2014;27(1):93-100. doi: 10.5713/ajas.2013.13411
  13. Ajdary M, Ghahnavieh MZ and Naghsh N. Sub-chronic toxicity of gold nanoparticles in male mice. *Adv Biomed Res*. 2015;4:67. doi: 10.4103/2277-9175.153890
  14. Chen Y, Oba M, Guan LL. Variation of bacterial communities and expression of Toll-like receptor genes in the rumen of steers differing in susceptibility to subacuteruminal acidosis. *Veterinary Microbiology*. 2012;159(3-4):451-459. doi: 10.1016/j.vetmic.2012.04.032
  15. Chen YH, Penner GB, Li MJ, Oba M, Guan LL. Changes in bacterial diversity associated with epithelial tissue in the beef cow rumen during the transition to a high-grain diet. *Appl Environ Microbiol*. 2011;77(16):5770-5781. doi: 10.1128/AEM.00375-11
  16. Galyean ML, Perino LJ, Duff GC. Interaction of cattle health/immunity and nutrition. *J Anim Sci*. 1999;77(5):1120-1134. doi: 10.2527/1999.7751120x
  17. Iannotti LL. The benefits of animal products for child nutrition in developing countries. *Rev Sci Tech*. 2018;37(1):37-46. doi: 10.20506/rst.37.1.2738
  18. Karimov I, Duskaev G, Inchagova K, Kartabaeva M. Inhibition of bacterial Quorum sensing by the ruminal fluid of cattle. *Int J of Geomate*. 2017;13(40): 88-92. doi: 10.21660/2017.40.65948
  19. Li RG, Wang XP, Wang CY, Ma MW, Li FC. Growth performance, meat quality and fatty acid metabolism response of growing meat rabbits to dietary linoleic acid. *Asian-Aust J Anim Sci*. 2012;25(8):1169-1177. doi: 10.5713/ajas.2012.12085
  20. Logachev K, Karimov I, Duskaev G, Frolov A, Tulebaev S, Zav`yalov O. Study of intercellular interaction of ruminal microorganisms of beef cattle. *Asian J of Animal Sci*. 2015;9(5):248-253. doi: 10.3923/ajas.2015.248.253
  21. Long SF, Xu YT, Pan L, et al. Mixed organic acids as antibiotic substitutes improve performance, serum immunity, intestinal morphology and microbiota for weaned piglets. *Anim Feed Sci Technol*. 2018;235:23-32. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.08.018
  22. Makaeva A, Atlanderova K, Duskaev G, Nurzhanov B, Rysaev A. Effects of folia betulae and menthe piperita extracts on microbiological and enzymatic characteristics of cattle rumen. *Journal of Animal Science*. 2020;98(S4):257-258. doi: 10.1093/jas/skaa278.465
  23. McAllister TA, Rode LM, Major DJ, Cheng KJ, Buchanan-Smith JG. Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. *Can J Anim Sci*. 1990;70(2):571-579. doi: 10.4141/cjas90-069
  24. Mora L, Sentandreu MA, Toldrá F. Hydrophilic chromatographic determination of carnosine, anserine, balenine, creatine, and creatinine. *J of Agricultural and Food Crumenistry*. 2007;55(12):4664-4669. doi: 10.1021/jf0703809
  25. Ozutsumi Y, Tajima K, Takenaka A, Itabashi H. The effect of protozoa on the composition of rumen bacteria in cattle using 16S rRNA gene clone libraries. *Biosci Biotechnol Biochem*. 2005;69(3):499-506. doi: 10.1271/bbb.69.499
  26. Partanen K, Jalava T, Valaja J. Effects of a dietary organic acid mixture and of dietary fibre levels on ileal and faecal nutrient apparent digestibility, bacterial nitrogen flow, microbial metabolite concentrations and rate of passage in the digestive tract of pigs. *Animal*. 2007;1(3):389-401. doi: 10.1017/S1751731107657838
  27. Pitta DW, Pinchak WE, Dowd SE, Osterstock J, Gontcharova V, Youn E, Dorton K, Yoon I, Min BR, Fulford JD, Wickersham TA, Malinowski DP. Rumen bacterial diversity dynamics associated with changing from bermudagrass hay to grazed winter wheat diets. *Microb Ecol*. 2010;59:511-522. doi: 10.1007/s00248-009-9609-6

28. Saraiva LA, Silva TPD, Paraguaio PE, Araújo MS, Sousa SV, Machado LP. Serum urea, creatinine and enzymatic activity of alkaline phosphatase in Nelore cattle raised in the Micro Upper Middle Gurguéia. *Anim Vet Sci.* 2014;2(4):105-108. doi: 10.11648/j.avs.20140204.14
29. Sizova E, Miroshnikov S, Lebedev S, Usha B, Shabunin S. Use of nanoscale metals in poultry diet as a mineral feed additive. *Animal Nutrition.* 2020;6(2):185-191. doi: 10.1016/j.aninu.2019.11.007
30. Snowden GD, Van Vleck LD, Cundiff LV, Bennett GL. Bovine respiratory disease in feedlot cattle: environmental, genetic, and economic factors. *J Anim Sci.* 2006;84(8):1999-2008. doi: 10.2527/jas.2006-046
31. Williams K, Milner J, Boudreau MD, Gokulan K, Cerniglia CE, Khare S. Effects of sub-chronic exposure of silver nanoparticles on intestinal microbiota and gut-associated immune responses in the ileum of Sprague-Dawley rats. *Nanotoxicol.* 2015;9(3):279-89. doi: 10.3109/17435390.2014.921346
32. Xu L, Hou Y, Bickhart DM, Song J, Tassell CPV, Sonstegard TS, Liu GE. A genome-wide survey reveals a deletion polymorphism associated with resistance to gastrointestinal nematodes in Angus cattle. *Funct Integr Genomics.* 2014;14(2):333-339. doi: 10.1007/s10142-014-0371-6
33. Xu YT, Liu L, Long SF, Pan L, Piao XS. Effect of organic acids and essential oils on performance, intestinal health and digestive enzyme activities of weaned pigs. *Anim Feed Sci Technol.* 2018;235:110-119. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.10.012

### References

1. Bagirov VA, Duskaev GK, Kazachkova NM, Rakhmatullin ShG, Yausheva EV, Kosyan DB, Makaev ShA, Dusaeva KhB. Addition of Quercus cortex extract to broiler diet changes slaughter indicators and biochemical composition of muscle tissue. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2018;53(4):799-810. doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.799eng
2. Ivanishcheva AP, Kamirova AM. The effect of the complex of silicon oxide and succinic acid on the elemental composition of the scar contents of ruminants. (Conference proceedings) In the collection: World scientific achievements in the field of natural and technical sciences. Materials of the X International Scientific and Practical Conference. Ryazan'; 2023:142-144.
3. Fisinin VI, Ushakov AS, Duskaev GK, Kazachkova NM, Nurzhanov BS, Rakhmatullin ShG, Levakhin GI. Mixtures of biologically active substances of oak bark extracts change immunological and productive indicators of broilers. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2018;53(2):385-392. doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.385eng
4. Kolbin IA, Kolesnikov OL. Phagocytic activity of neutrophil granulocytes exposed to silicon dioxide nanoparticles. *Journal of Ural Medical Academic Science.* 2010;2-1(29):36-37.
5. Sizova EA, Ryazantseva KV, Musabaeva LL, Nechitailo KS, Ivanishcheva AP, Vlasov EA. Feed additive based on silicon in the diet of broiler chickens. *Poultry and Poultry Products.* 2024;2:36-39.
6. Ivanishcheva AP, Sizova EA, Kamirova AM, Musabaeva LL, Solovyov MV. Macro- and microelements in animal nutrition: a variety of substances and forms. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2023;106(2):85-111. doi: 10.33284/2658-3135-106-2-85
7. Papunidi KH, Papunidi EK, Yakupova LF, Gracheva OA, Volkov AH, Smolentsev SY. Scientific justification of the use of succinic acid and preparations based on it (monograph). Yoshkar-Ola: Mari State University; 2022:234 p.
8. Sizova EA, Nechitailo KS, Ivanishcheva AP, Ryabov NI. The prospects of using ultra-dispersed forms of metals in animal feeding. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2020;103(3):177-189. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-177
9. Shumakova AA, Arianova EA, Shipelin VA, Sidorova YuS, Selifanov AV, Trushina EN, Mustafina OK, Safenkova IV, Gmoshinsky IV, Khotimchenko SA, Tutelyan VA. Toxicological assessment of nanostructured silica. I. Integral indices, adducts of DNA, tissue thiols and apoptosis in liver. *Problems of Nutrition.* 2014;83(3):52-62.

10. Trunov MA. Action and use of the drug YAK-85 in poultry farming: abstract. dis. Ph.D. vet. Sci. Krasnodar; 2000:15 p.
11. Makaeva AM, Atlanderova KN, Sizova EA, Miroshnikov SA, Vanshin VV. The elemental and microecological composition of rumen after use of highly dispersive particles in cattle feeding. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2019;102(3):19-32. doi: 10.33284/2658-3135-102-3-19
12. Ahmed ST, Hwang JA, Hoon J, Mun HS, Yang CJ. Comparison of single and blend acidifiers as alternative to antibiotics on growth performance, fecal microflora, and humoral immunity in weaned piglets. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2014;27(1):93-100. doi: 10.5713/ajas.2013.13411
13. Ajdary M, Ghahnavieh MZ and Naghsh N. Sub-chronic toxicity of gold nanoparticles in male mice. *Adv Biomed Res*. 2015;4:67. doi: 10.4103/2277-9175.153890
14. Chen Y, Oba M, Guan LL. Variation of bacterial communities and expression of Toll-like receptor genes in the rumen of steers differing in susceptibility to subacuteruminal acidosis. *Veterinary Microbiology*. 2012;159(3-4):451-459. doi: 10.1016/j.vetmic.2012.04.032
15. Chen YH, Penner GB, Li MJ, Oba M, Guan LL. Changes in bacterial diversity associated with epithelial tissue in the beef cow rumen during the transition to a high-grain diet. *Appl Environ Microbiol*. 2011;77(16):5770-5781. doi: 10.1128/AEM.00375-11
16. Galyean ML, Perino LJ, Duff GC. Interaction of cattle health/immunity and nutrition. *J Anim Sci*. 1999;77(5):1120-1134. doi: 10.2527/1999.7751120x
17. Iannotti LL. The benefits of animal products for child nutrition in developing countries. *Rev Sci Tech*. 2018;37(1):37-46. doi: 10.20506/rst.37.1.2738
18. Karimov I, Duskaev G, Inchagova K, Kartabaeva M. Inhibition of bacterial Quorum sensing by the ruminal fluid of cattle. *Int J of Geomate*. 2017;13(40): 88-92. doi: 10.21660/2017.40.65948
19. Li RG, Wang XP, Wang CY, Ma MW, Li FC. Growth performance, meat quality and fatty acid metabolism response of growing meat rabbits to dietary linoleic acid. *Asian-Aust J Anim Sci*. 2012;25(8):1169-1177. doi: 10.5713/ajas.2012.12085
20. Logachev K, Karimov I, Duskaev G, Frolov A, Tulebaev S, Zav`yalov O. Study of intercellular interaction of ruminal microorganisms of beef cattle. *Asian J of Animal Sci*. 2015;9(5):248-253. doi: 10.3923/ajas.2015.248.253
21. Long SF, Xu YT, Pan L, et al. Mixed organic acids as antibiotic substitutes improve performance, serum immunity, intestinal morphology and microbiota for weaned piglets. *Anim Feed Sci Technol*. 2018;235:23-32. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.08.018
22. Makaeva A, Atlanderova K, Duskaev G, Nurzhanov B, Rysaev A. Effects of folia betulae and menthe piperita extracts on microbiological and enzymatic characteristics of cattle rumen. *Journal of Animal Science*. 2020;98(S4):257-258. doi: 10.1093/jas/skaa278.465
23. McAllister TA, Rode LM, Major DJ, Cheng KJ, Buchanan-Smith JG. Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. *Can J Anim Sci*. 1990;70(2):571-579. doi: 10.4141/cjas90-069
24. Mora L, Sentandreu MA, Toldrá F. Hydrophilic chromatographic determination of carnosine, anserine, balenine, creatine, and creatinine. *J of Agricultural and Food Crumenistry*. 2007;55(12):4664-4669. doi: 10.1021/jf0703809
25. Ozutsumi Y, Tajima K, Takenaka A, Itabashi H. The effect of protozoa on the composition of rumen bacteria in cattle using 16S rRNA gene clone libraries. *Biosci Biotechnol Biochem*. 2005;69(3):499-506. doi: 10.1271/bbb.69.499
26. Partanen K, Jalava T, Valaja J. Effects of a dietary organic acid mixture and of dietary fibre levels on ileal and faecal nutrient apparent digestibility, bacterial nitrogen flow, microbial metabolite concentrations and rate of passage in the digestive tract of pigs. *Animal*. 2007;1(3):389-401. doi: 10.1017/S1751731107657838
27. Pitta DW, Pinchak WE, Dowd SE, Osterstock J, Gontcharova V, Youn E, Dorton K, Yoon I, Min BR, Fulford JD, Wickersham TA, Malinowski DP. Rumen bacterial diversity dynamics associated with changing from bermudagrass hay to grazed winter wheat diets. *Microb Ecol*. 2010;59:511-522. doi: 10.1007/s00248-009-9609-6

28. Saraiva LA, Silva TPD, Paraguaio PE, Araújo MS, Sousa SV, Machado LP. Serum urea, creatinine and enzymatic activity of alkaline phosphatase in Nelore cattle raised in the Micro Upper Middle Gurguéia. *Anim Vet Sci.* 2014;2(4):105-108. doi: 10.11648/j.avs.20140204.14
29. Sizova E, Miroshnikov S, Lebedev S, Usha B, Shabunin S. Use of nanoscale metals in poultry diet as a mineral feed additive. *Animal Nutrition.* 2020;6(2):185-191. doi: 10.1016/j.aninu.2019.11.007
30. Snowden GD, Van Vleck LD, Cundiff LV, Bennett GL. Bovine respiratory disease in feedlot cattle: environmental, genetic, and economic factors. *J Anim Sci.* 2006;84(8):1999-2008. doi: 10.2527/jas.2006-046
31. Williams K, Milner J, Boudreau MD, Gokulan K, Cerniglia CE, Khare S. Effects of sub-chronic exposure of silver nanoparticles on intestinal microbiota and gut-associated immune responses in the ileum of Sprague-Dawley rats. *Nanotoxicol.* 2015;9(3):279-89. doi: 10.3109/17435390.2014.921346
32. Xu L, Hou Y, Bickhart DM, Song J, Tassell CPV, Sonstegard TS, Liu GE. A genome-wide survey reveals a deletion polymorphism associated with resistance to gastrointestinal nematodes in Angus cattle. *Funct Integr Genomics.* 2014;14(2):333-339. doi: 10.1007/s10142-014-0371-6
33. Xu YT, Liu L, Long SF, Pan L, Piao XS. Effect of organic acids and essential oils on performance, intestinal health and digestive enzyme activities of weaned pigs. *Anim Feed Sci Technol.* 2018;235:110-119. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.10.012

#### **Информация об авторах:**

**Айна Маратовна Камирова**, кандидат биологических наук, научный сотрудник центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-922-548-44-89.

**Елена Анатольевна Сизова**, доктор биологических наук, руководитель центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; профессор научно-образовательного центра «Биологические системы и нанотехнологии», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, тел.: 8-912-344-99-07.

**Анастасия Павловна Иванищева**, младший научный сотрудник Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-987-843-58-22.

**Даниил Евгеньевич Шошин**, аспирант, лаборант-исследователь центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; ассистент научно-образовательного центра «Биологические системы и нанотехнологии», Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, тел.: 8-965-932-53-67.

**Елена Владимировна Яушева**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, руководитель лаборатории молекулярно-генетических исследований и металломики в животноводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-987-850-07-15.

#### **Information about the authors:**

**Ayna M Kamirova**, Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Centre for Nanotechnologies in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-922-548-44-89.

**Elena A Sizova**, Dr. Sci. (Biology), Head of the Centre for Nanotechnologies in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000; Professor of the Scientific and Educational Center «Biological Systems and Nanotechnologies», Orenburg State University, 13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018, tel.: 8-912-344-99-07.

**Anastasia P Ivanishcheva**, Junior Researcher at the Testing Center of the Common Use Center, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-987-843-58-22.

**Daniil E Shoshin**, Postgraduate student, Laboratory Researcher of the Centre for Nanotechnologies in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000; Assistant at the Scientific and Educational Center «Biological Systems and Nanotechnologies», Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, tel.: 8-965-932-53-67.

**Elena V Yausheva**, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Head of the Laboratory of Molecular Genetic Research and Metallomics in Animal Husbandry, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-987-850-07-15.

Статья поступила в редакцию 15.02.2024; одобрена после рецензирования 22.05.2023; принята к публикации 10.06.2024.

The article was submitted 15.02.2024; approved after reviewing 22.05.2023; accepted for publication 10.06.2024.