

УДК 638.5:559.27

Научный обзор



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-399-10-91-101

В.В. Гречкина^{1,2}О.В. Кван^{1,3}✉Е.В. Шейда^{1,3}М.А. Десятков^{1,2}Н.В. Соболева²

¹Федеральный научный центр
биологических систем и
агротехнологий Российской академии
наук, Оренбург, Россия

²Оренбургский государственный
аграрный университет, Оренбург,
Россия

³Оренбургский государственный
университет, Оренбург, Россия

✉ kwan111@yandex.ru

Поступила в редакцию: 12.05.2025

Одобрена после рецензирования: 11.09.2025

Принята к публикации: 26.09.2025

© Гречкина В.В., Кван О.В., Шейда Е.В.,
Десятков М.А., Соболева Н.В.

Эндогенные потери минеральных веществ в организме животных и факторы, влияющие на их доступность (обзор)

РЕЗЮМЕ

Эндогенные потери питательных веществ у сельскохозяйственных животных играют ключевую роль в регуляции обмена веществ и поддержании гомеостаза в организме животных. Для их снижения необходимо проводить нутритивную поддержку — вводить в корма минеральные вещества, необходимые для восстановления обмена веществ у животных. Цели исследования — провести анализ публикаций научных исследований по состоянию микронутриентной обеспеченности рационов, их роли для сельскохозяйственных животных и выявить факторы, влияющие на эндогенные потери эссенциальных элементов из организма с 2010 по 2025 год.

При поиске источников литературы использовали традиционный и смешанный методы, а также автоматизированный поиск. Знание механизмов эндогенных потерь и их биологической значимости позволит не только повысить продуктивность животных, но и улучшить экологическую устойчивость сельского хозяйства. Современные методы кормления, использование ферментов, минеральных добавок и правильная селекция позволят значительно уменьшить потери питательных веществ, что является важным шагом на пути к более эффективному и устойчивому животноводству. Применение минеральных добавок с улучшенной биодоступностью и степенью усвоения даст возможность сократить концентрацию микроэлементов, включаемых в корм бройлерам. Уменьшение содержания минералов в корме приведет к удешевлению рационов и сокращению выброса химических элементов в агроэкосистему. Таким образом, поддержание стабильного уровня минералов в теле животных на производстве возможно лишь через обеспечение питательными веществами каждой клетки. Это достигается либо повышением ежедневного потребления этих элементов, либо применением форм с улучшенным усвоением, таких как нано- и металлогорганические соединения.

Ключевые слова: сельскохозяйственные животные, эссенциальные элементы, обмен веществ, кормление, наночастицы, эндогенные потери, новые принципы, минеральное питание, усвояемость

Для цитирования: Гречкина В.В., Кван О.В., Шейда Е.В., Десятков М.А., Соболева Н.В. Эндогенные потери минеральных веществ в организме животных и факторы, влияющие на их доступность (обзор). *Аграрная наука*. 2025; 399(10): 91–101.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-91-101>

Review



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-399-10-91-101

Viktoria V. Grechkina^{1,2}Olga V. Kvan^{1,3}✉Elena V. Sheida^{1,3}Mikhail A. Desyatkov^{1,2}Natalia V. Soboleva²

¹Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

²Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

³ Orenburg State University, Orenburg, Russia

✉ kwan111@yandex.ru

Received by the editorial office: 12.05.2025

Accepted in revised: 11.09.2025

Accepted for publication: 26.09.2025

© Grechkina V.V., Kvan O.V., Sheida E.V.,
Desyatkov M.A., Soboleva N.V.

Endogenous losses of minerals in the animal body and factors affecting their availability (review)

ABSTRACT

Endogenous nutrient losses in farm animals play a key role in regulating metabolism and maintaining homeostasis in the animal body. To reduce them, it is necessary to carry out nutritional support — to introduce minerals into the feed, which are necessary to restore the metabolism of animals.

The purpose of the study is to analyze the publications of scientific research on the state of micronutrient supply of diets, their role for farm animals and to identify factors affecting the endogenous loss of essential elements from the body from 2010 to 2025.

When searching for literature sources, traditional and mixed methods were used, as well as automated search. Knowledge of the mechanisms of endogenous losses and their biological significance will not only increase animal productivity, but also improve the environmental sustainability of agriculture. Modern feeding methods, the use of enzymes, mineral additives and proper breeding will significantly reduce nutrient losses, which is an important step towards more efficient and sustainable animal husbandry. Thus, maintaining a stable level of minerals in the body of animals is possible only by providing nutrients to each cell. This is achieved either by increasing the daily intake of these elements or by using forms with improved absorption, such as nano- and organometallic compounds.

Keywords: farm animals, essential elements, metabolism, feeding, nanoparticles, endogenous losses, new principles, selective management

For citation: Grechkina V.V., Kvan O.V., Sheida E.V., Desyatkov M.A., Soboleva N.V. New principles of optimizing the nutrition of farm animals based on selective management of endogenous losses of essential elements (review). *Agrarian science*. 2025; 399(10): 91–101 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-91-101>

Введение/Introduction

Эндогенные потери питательных веществ у сельскохозяйственных животных — ключевая тема в области животноводства, поскольку она напрямую связана с эффективностью кормления, продуктивностью и здоровьем животных. Эти потери происходят в процессе метаболизма и выведения веществ, которые не могут быть использованы организмом. Понимание механизмов эндогенных потерь и их биологической значимости позволяет оптимизировать кормовые рационы и улучшать управление здоровьем животных, что способствует повышению экономической эффективности сельского хозяйства [1].

Они играют важную роль в регуляции обмена веществ и поддержании гомеостаза в организме животных: с одной стороны, способствуют удалению избыточных или неподдающихся усвоению веществ, предотвращая их накопление и возможное токсическое воздействие, с другой — высокая степень потерь может свидетельствовать о нарушениях в обмене веществ или недостаточности кормов [2].

Значительные потери азота через мочу могут быть следствием дисбаланса в рационе, особенно при недостатке углеводов в кормах, что приводит к избыточному выделению белка. Это может не только снижать продуктивность животных, но и отрицательно сказываться на экологии, поскольку избыточное количество азота в экскретах может приводить к загрязнению почвы и водоемов [3].

Для животных, выращиваемых для получения молока, мяса и яиц, высокая степень эндогенных потерь может означать неэффективное использование питательных веществ, что ведет к снижению роста, ухудшению репродуктивных функций и снижению качества продукции. Проблема особенно актуальна для высокопродуктивных животных, таких как молочные коровы и мясные породы свиней, которые требуют оптимального баланса между потреблением и усвоением питательных веществ [4].

Для минимизации потерь питательных веществ и повышения продуктивности животных необходимо учитывать механизмы их при разработке кормовых рационов и управлении метаболическими процессами [5].

Значимость вклада эндогенного сегмента минерального обмена в формирование продуктивности животных определяется количеством эндогенных минеральных веществ, выделяемых в пищеварительный тракт, нередко на порядок, превышающий экзогенный компонент. Влияние отдельных кормовых добавок, микрофлоры и пищеварительного тракта на продуктивность и минеральный обмен у животных всё еще остается неизученной проблемой [6].

Внедрение новых методов кормления, таких как использование кормовых добавок, ферментов, микро- и макроэлементов, может значительно снизить потери углеводов и белков через кишечник и мочу, улучшив усвоемость питательных веществ.

Цели исследования — провести анализ публикаций научных исследований по состоянию минерального обеспечения рационов, их роли для сельскохозяйственных животных и выявить факторы, влияющие на эндогенные потери эссенциальных элементов из организма с 2010 по 2025 год.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Поиск и анализ литературы проводили с использованием интернет-ресурсов: РИНЦ (<https://www.elibrary.ru>), ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com>, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>). При поиске источников литературы использовали разные подходы, среди них — традиционный и смешанный метод, а также автоматизированный поиск. Предпочтение было отдано источникам с 2010 по 2025 год — по ключевым словам: сельскохозяйственные животные, эссенциальные элементы, обмен веществ, кормление, наночастицы, эндогенные потери, новые принципы, минеральное питание, усвояемость.

Проанализированы более 60 источников литературы по микроэлементам Fe, Cu, Zn, Mn, Co.

Для обзора отбирали материалы, подготовленные отечественными и зарубежными учеными в области кормления животных, и использовали теоретические методы исследования (анализ, классификацию и обобщение).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Биологическая роль эссенциальных элементов в организме животных

Роль минералов в рационе сельскохозяйственных животных обусловлена не только их конкретным воздействием на метаболизм, биодоступностью и участием в поддержании кислотно-щелочного баланса, но и их способностью взаимодействовать с другими элементами, оказывая тем самым как положительное, так и отрицательное воздействие на здоровье животных. Различные формы взаимодействия между минеральными элементами могут оказывать существенное влияние на продуктивность и общее состояние здоровья животных [7].

В исследованиях М.Т. Сабитова (2020 г.) показано, что эффективность усвоения питательных веществ корма у жвачных напрямую зависит от функционирования рубца. При отсутствии каких-либо отклонений здоровая микрофлора рубца обеспечивается поступлением с кормом достаточного количества минералов в сбалансированном соотношении [8].

Дисбаланс макро- и микроэлементов в питании, будь то их нехватка или переизбыток, влечет за собой нарушение равновесия между питательными веществами и биологически активными компонентами, что негативно сказывается на обмене веществ. Д.М. Богданович (2020 г.) установил, что

гомеостатические параметры организма в значительной степени зависят от функционального значения микроэлементов, так как они обеспечивают организм химически активными катионами и анионами [9].

Результаты опыта Ю.Н. Арылова (2017 г.) показали, что основной приток микроэлементов в организм коров обеспечивается за счет грубых и концентрированных кормов, поэтому поддержание необходимого уровня микроэлементов в этих кормах имеет первостепенное значение. Для достижения этой цели рекомендуется использовать микроудобрения при выращивании кормовых культур для компенсации дефицита минеральных веществ, проводить уборку трав в наиболее подходящие фазы вегетации, а также строго следовать технологическим процессам при заготовке и хранении травяных кормов. В кормах микроэлементы представлены в наиболее благоприятных физиологических пропорциях относительно друг друга, а также в сочетании с витаминами, макроэлементами, белками и углеводами, что способствует их более эффективному усвоению и использованию. Такой комплексный подход позволяет существенно смягчить проблему дефицита микроэлементов в рационе коров [10].

Прежде чем детально рассматривать физиологические и биохимические свойства каждого микроэлемента, важно акцентировать внимание на том, что ключевую роль в их биологической активности играет способность к формированию биокластеров. Иными словами, они обладают возможностью создавать динамичные и стабильные биокомплексы, преимущественно входящие в состав активных центров ферментов. Именно эти биокомплексы непосредственно вовлечены в кислотно-щелочные реакции и окислительно-восстановительные процессы, протекающие в организме [11].

Для коров с высокой молочной продуктивностью рекомендуется увеличивать содержание микроэлементов в корме на 30–50%. Однако избыток микроэлементов может быть вреден. Согласно литературным источникам, для коров в период лактации токсичными считаются следующие концентрации микроэлементов в расчете на 1 кг сухого вещества корма: железо — 240 мг, медь — 115 мг, цинк — 900 мг, йод — 1000 мг, кобальт — 30 мг, селен — 5 мг [12].

Необходимо регулярно проверять концентрацию микроэлементов в кормах и рационах коров. Это требуется для создания индивидуальных премиксов, которые полностью удовлетворяют потребности животных, учитывая фактическое содержание микроэлементов в кормах. Исследования, проведенные Г.П. Воронцовым (2022 г.), показали, что целенаправленная корректировка микроэлементного питания коров увеличивает стабильность лактации на 7,4%, сокращает период между отелом и плодотворным осеменением на 14 дней и уменьшает расход корма на 1 кг

молока на 10,2%. Кроме того, такой подход способствует повышению устойчивости новорожденных телят к болезням и снижает заболеваемость коров маститом и эндометритом [13].

В исследовании М.О. Каримовой (2020 г.) было показано, что потребность животных в минеральных веществах и незаменимых аминокислотах, обусловленная физиологией, варьируется в зависимости от множества факторов, включая возраст, текущее физическое состояние, методы и условия содержания, тип рациона и уровень продуктивности [14]. Главным источником основных минералов для животных служит растительная пища. При этом состав минералов в кормах подвержен значительным колебаниям, которые определяются не только биохимическими зонами страны, но и региональными особенностями.

Н.М. Костомахин и др. (2019 г.) выявили критически важную связь между микроэлементами и работой ферментных систем в организме животных. Одно- и двухвалентные ионы металлов интегрированы в структуру ферментов, имеющих асимметричное строение, что является причиной их повышенной катализической способности. Ряд микроэлементов, таких как медь, цинк, кобальт и марганец, в форме ионов напрямую включаются в активный центр ферментов, оказывая значительное влияние на их функциональность [15].

В современной научной литературе уделяется значительное внимание взаимосвязи между микроэлементами и работой эндокринной системы, а также активностью гормонов. Они существенно влияют на уровень естественной устойчивости организма, функционирование иммунитета и поддержание антиоксидантной защиты животных. Минералы служат важными составляющими гормональных молекул, включая инсулин, пролактин, тироксин и др. [16].

В организме животных микроэлементы содержатся в малых стабильных концентрациях, но их значение для роста и развития огромно. Си, Фе, Мн и Zn, например, действуют в основном как катализаторы ферментативных реакций в клетках или входят в состав ферментов. Их вклад в ферментативные процессы варьируется от слабого влияния ионной силы до высокоспецифичных связей, образующих металлоферменты. Эти металлоферменты оказывают существенное воздействие на метаболизм животных (даже в минимальном количестве). Из-за этого сложно выявить подходящий биомаркер для точного определения статуса этих микроэлементов и их функций. Тем не менее стабильное соотношение каждого минерала в общей концентрации в организме животных разного возраста предполагает, что с увеличением массы тела растет лишь общее содержание микроэлементов. Нехватка этих элементов, несомненно, замедлит рост животных, а их избыток окажет отрицательное воздействие и будет выведен из организма [17].

Железо играет ключевую роль в окислительно-восстановительных процессах и переносе

электронов, необходимых для клеточного дыхания. В организме животного подавляющая часть железа имеет органическое происхождение, а лишь незначительная доля представлена свободными неорганическими ионами. Приблизительно две трети железа сконцентрировано в гемоглобине, который жизненно важен для транспортировки кислорода и регуляции клеточного дыхания. Оставшаяся часть распределена между различными белками, служащими резервуарами железа [18].

Железо необходимо для производства энергии клетками и организмом в целом, а также для метаболизма белков и поддержания здоровья, для предотвращения анемии. Предполагается, что этот путь выполняет несколько важных функций, включая обеспечение железом для синтеза железосодержащих ферментов, участие в клеточном транспорте и хранении железа, а также влияние на экспрессию или подавление железосодержащих ферментов [19].

Медь преимущественно связывается с церулоплазмином и в значительном количестве присутствует в металлоферментах, таких как цитохромоксидаза, супероксиддисмутаза, лизилоксидаза, дофамин-β-гидроксилаза и тирозиназа. Вместе с тем установлено, что недостаток меди в пищевом рационе не оказывает влияния на концентрацию церулоплазмина, синтезируемого печенью. Этот микроэлемент играет важную роль в ряде биологических процессов, включая клеточное дыхание, функционирование сердечно-сосудистой системы, формирование костной ткани, развитие соединительной ткани, кератинизацию и пигментацию тканей, а также в процессе миelinизации спинного мозга. Медь оказывает непосредственное влияние на метаболизм железа и, как следствие, опосредованно участвует в биосинтезе гемоглобина [20].

Цинк — критически важный микроэлемент, выполняющий в организме три фундаментальные функции: каталитическую, структурную и регуляторную. Он является составной частью более чем 300 ферментов, включая карбоангидразу, алкогольдегидрогеназу и щелочную фосфатазу, где участвует в каталитических реакциях. Входит в структуру свыше 1000 транскрипционных факторов, что указывает на влияние минерального статуса на экспрессию генов. Несмотря на эту тесную связь между микроэлементом и ферментами, прямая зависимость между снижением ферментативной активности и недостатком Zn выражена слабо. Это объясняется тем, что Zn-содержащие ферменты характеризуются исключительным сродством к иону Zn, удерживая его даже при его низкой концентрации [21].

Марганец, подобно другим эссенциальным микроэлементам, способен выступать как активатор ферментов, так и входить в состав металлоферментов, играющих роль в метаболизме белков и гликолизе. Несмотря на ограниченное число

Mn-содержащих металлоферментов, он способен активировать широкий спектр ферментов, включая гидролазы, киназы, декарбоксилазы и трансферазы. Марганец крайне необходим для нормального развития костной ткани у бройлеров, для метаболизма углеводов и липидов, обеспечения функционирования иммунной и нервной систем, а также для репродуктивной функции [22].

Факторы, влияющие на эндогенные потери минеральных веществ

Моча и кал — основные пути выведения веществ, которые не были усвоены или избыточны в организме. В частности, по данным А.М. Камировой и ее коллег (2020 г.), через мочу выделяются азотистые вещества, такие как мочевина, аммиак, а также минералы, включая калий и натрий. Избыточные органические вещества, такие как аминокислоты, могут выводиться через кал, если они не усваиваются в тонком кишечнике или не участвуют в обменных процессах организма [23].

М.Я. Курилкина и др. (2017 г.) совместно с коллегами определили, что нехватка или, напротив, переизбыток макро- и микроэлементов в кормах скота может серьезно отразиться на их здоровье и производительности, негативно влияя на репродуктивные функции коров, вызывая аномалии развития у молодняка и провоцируя различные заболевания [24].

Для поддержания высокой продуктивности необходимо обеспечивать поступление макро- и микроэлементов в организм животных в оптимальном количестве и пропорциях, строго соответствующих их физиологическим потребностям. С.С. Абрамов и др. (2017 г.) при обследовании рационов в различных хозяйствах выявили существенный недостаток ряда минеральных веществ и витаминов, что требует корректировки системы кормления в целом [25].

Исследования В.И. Fisinina *et al.* (2018) показали, что, к сожалению, во многих хозяйствах минеральному питанию коров и телят не придают должного значения, что приводит к существенным экономическим убыткам из-за снижения надоев, ухудшения качества молока, проблем с воспроизводством и высокой заболеваемости телят. Дефицит минералов чаще всего проявляется в виде проблем с костной системой (таких, как ракит, остеопороз и остеомаляция), нарушениях в мышечной и нервной ткани (например, тетания, беломышечная болезнь), сбоях в кроветворении (в частности, анемия и акобалтоз), а также в нарушениях работы эндокринной системы (например, эндемический зоб) [26].

Перенасыщение организма минералами может привести к его отравлению. Значительные концентрации железа, меди, кобальта, цинка, молибдена, селена и фтора обладают токсичными свойствами. Для выявления дефицита или профицита минеральных компонентов в питании необходимо

анализировать их концентрацию в кормах и сопоставлять с уточненными стандартами потребностей животных в этих элементах. Следовательно, крайне важно регулярно отслеживать обеспеченность животных микроэлементами и своевременно реагировать на любые признаки их нехватки.

R. Prasad *et al.* (2017) установили, что даже при оптимальном соотношении энергии и белка в рационе часто наблюдается дефицит минеральных веществ и витаминов, что провоцирует возникновение различных болезней, ухудшение репродуктивной функции и снижение продуктивности. Такой дисбаланс в кормлении влечет за собой значительные финансовые потери для сельскохозяйственных предприятий. Необходимо понимать, что одного лишь анализа состава рациона недостаточно для точной оценки обеспеченности животных необходимыми минералами и витаминами [27].

Принимая во внимание факторы, обнаруженные в исследованиях Е.А. Сизовой и др. (2016 г.), оказывающие воздействие на всасывание и применение минералов и витаминов, это имеет большое значение. Важно понимать, что лишь конкретная доля макро- и микроэлементов способна абсорбироваться и трансформироваться в организме в метаболически активную форму. По этой причине было введено понятие биологической доступности (БД). В основном под биологической доступностью специалисты подразумевают эффективность абсорбции и использования минеральных веществ у животных, полученных из различных источников или при разных физиологических состояниях организма. Оптимизация рационов с учетом БД позволяет более полно удовлетворять потребности организма в макро- и микроэлементах, эффективнее использовать корма и добавки, а также проводить объективную оценку новых кормовых средств и методов подготовки кормов к употреблению [28].

Микробиота, особенно у травоядных животных, играет значительную роль в переработке и выводе питательных веществ. Например, у коров и овец ферментация углеводов и расщепление белков в рубце часто приводят к образованию летучих жирных кислот и аммиака, которые частично теряются через экскреты. Brown K. и др. (2023) провели ряд исследований на мышах, чтобы выявить, как микробиота влияет на эндогенные потери минеральных веществ [29].

Эндогенные потери могут быть связаны с изменениями в гормональном фоне. Например, стрессы или инфекции могут активировать выработку кортикоэстериоидов, что в свою очередь повышает метаболическую активность и выведение питательных веществ. Согласно исследованиям Д.Е. Шошина и др. (2024 г.), повышение уровня кортизола и других гормонов стресса может ускорить распад жиров и белков, что приводит к их избыточной утрате через экскреты. Важно отметить, что такие потери особенно значимы в условиях

интенсивного производства, когда животные подвергаются стрессовым ситуациям, связанным с транспортировкой, сменой климата или заболеванием [30].

Факторы, влияющие на доступность минеральных веществ кормов для жвачных

Поддержание стабильной концентрации минералов в теле животных обеспечивается гомеостатическими механизмами, которые регулируют: 1) уровень абсорбции; 2) экскрецию с мочой; 3) тканевые отложения в безвредном количестве или мобилизацию резервных форм; 4) эндогенную экскрецию с калом. Эти процессы позволяют организму поддерживать минеральный баланс, несмотря на колебания в питании и метаболических потребностях. Гомеостаз минеральных веществ важен для нормального функционирования различных физиологических систем, включая нервную, мышечную и костную. Изменения в абсорбции, экскреции и тканевом распределении минералов позволяют организму адаптироваться к различным условиям и поддерживать оптимальную внутреннюю среду [31].

Добавление в рацион ферментов, таких как целлюлаза и амилаза, может улучшить переваривание клетчатки и углеводов, что уменьшает количество неусвоенных питательных веществ и их потерю через кал. Согласно работе М.Т. Капланова, Р.Р. Исякаевой, использование таких добавок у жвачных животных повышает эффективность переработки корма и снижает потери энергии [32].

P.V. Chrystal *et al.* (2020) предположили, что постоянный мониторинг экскретов животных, особенно их состава и концентрации азотистых веществ, позволяет точно регулировать состав кормов. Это помогает уменьшить потери белка и других питательных веществ. Такой подход позволяет более точно определять потребности животных в питательных веществах и избегать их избыточных потерь [33].

В последние годы набирает популярность направление по улучшению кормления животных через селекцию. Селекция на основе эффективности усвоения питательных веществ способствует созданию животных, которые могут использовать корм более эффективно, что позволяет снизить эндогенные потери и повысить общую продуктивность [34].

Если в качестве источника нерасщепляемого протеина в корме применяется барда, то использование минеральных добавок с высоким содержанием фосфора и серы не рекомендуется. Это обусловлено тем, что барда уже содержит значительные количества этих элементов. Чтобы избежать риска токсического воздействия и нежелательных финансовых затрат, следует избегать избыточного внесения этих минералов без крайней необходимости. В то же время барда характеризуется низким содержанием Са и Си. В таких ситуациях включение этих элементов в рацион

животных является оправданным и полезным для поддержания их здоровья и продуктивности [35].

В результатах исследования J. Li *et al.* (2022) отмечается, что эффективность всасывания цинка существенно падает с возрастом: у молодых телят она превышает 50%, в то время как у взрослых коров этот показатель снижается до 12%. Это объясняется тем, что микроэлементы легко вступают в реакции с анионными лигандами, образуя комплексы [36].

Схожая картина наблюдается в экспериментах D.E. Charmaine *et al.* (2021) с усвоением Cu у ягнят: если у сосунков этот показатель составляет 71%, то непосредственно перед отъемом он снижается до 47%, а через две недели после отъема — до 11%. У взрослых овец, обладающих полноценно функционирующим рубцом, доступность меди колеблется в пределах 4–8%. Считается, что возрастное снижение усвоения меди связано с активностью рубцовой микрофлоры, продуцирующей сульфиды. Эти соединения связывают медь, образуя сульфид меди и тиомолибдат меди — формы, значительно хуже усваиваемые организмом [17].

M. Molenda *et al.* (2023) определили, что когда запасы минералов, особенно Ca, P и Zn, истощаются в период беременности и лактации, то животные способны усваивать эти элементы в объеме, вдвое превышающем потребности организма в нормальном состоянии [37].

Паразитарные инвазии у овец приводят к внутренним потерям и ухудшению всасывания Ca и P, оказывая неблагоприятное воздействие на костную ткань и способствуя развитию ракита и иных патологий. Кроме того, установлено, что паразиты ухудшают усвоение меди. Инфицирование *T. circincta* способно нарушить метаболизм меди, что связано, в частности, с увеличением pH в сычуге. Уменьшение кислотности приводит к снижению растворимости меди и, как следствие, ухудшению ее захвата печенью [38].

У животных, испытывающих тепловой стресс, часто выявляется снижение уровня P, Na, K и Zn в сыворотке крови. Это, вероятно, связано с уменьшением потребления сухого вещества корма и, как следствие, недостаточным поступлением этих минералов. В связи с этим увеличение концентрации этих элементов в рационе может стать эффективным способом компенсации сниженного потребления сухого вещества и обеспечения достаточного количества минералов для скота [39].

В теле животных непрерывно поддерживается баланс между противоположными процессами, и даже незначительные отклонения от нормы оперативно корректируются. К примеру, поступление минералов в плазму крови сбалансировано их удалением из нее, всасывание из желудочно-кишечного тракта уравновешивается внутренними потерями через этот же тракт, высвобождение минеральных веществ из костей компенсируется их включением в костную ткань, реабсорбция в почечных канальцах согласована с выведением

минералов почками вместе с мочой. Увеличенное выделение минеральных веществ у животных, потреблявших добавки из неорганических источников, объясняется повышенной концентрацией этих элементов в базовом корме. По сути, животные получали избыточное количество минералов по сравнению с их потребностями [40].

Учеными E. Kaleigh *et al.* (2021) предполагается, что органические минералы проявляют меньшую склонность к взаимодействию с другими компонентами пищи и формированию труднодоступных соединений в кишечном тракте, что благоприятствует более эффективному усвоению этих минералов. Следовательно, возможно применение органических минералов в меньших дозировках, не опасаясь ухудшения показателей роста и продуктивности, при этом снижая концентрацию минералов в экскрементах. Иными словами, высокая биодоступность органических минералов позволяет уменьшить их общее количество в рационе без ущерба для здоровья и продуктивности животных [41].

Хелатирование органических микроэлементов обеспечивает максимальную биодоступность, поскольку экранирует положительный заряд минералов. Это повышает устойчивость к изменениям pH в процессе пищеварения, снижая конкуренцию между минералами с одинаковым зарядом. В результате кишечник лучше усваивает минералы, а потери с экскрементами сокращаются [42].

Результаты A. Scherzad *et al.* (2017) показали, что Cu, Fe, Mn и Zn способны к образованию гидроксиполимеров и хорошо растворяются в кислой среде. Однако в нейтральных условиях кишечника они быстро преобразуются в нерастворимые гидроксидные соединения, выпадающие в осадок. Следовательно, абсорбция этих микроэлементов, вероятно, зависит от секреции желудочного сока в желудке. Существенное падение кислотности желудочного сока способно уменьшить концентрацию растворенных и, как следствие, биодоступных металлов в желудочном [43].

Экспериментальные исследования C.D. Espinosa и H.H. Stein (2021) установили, что введение хелатных соединений металлов, таких как Cu и Co, в рацион телят приводит к стимуляции активности церулоплазмина, повышению уровня тиоловых соединений, сульфидрильных групп и гамма-глобулиновой фракции протеинов в сыворотке крови. Это в свою очередь способствует увеличению скорости набора веса у молодых бычков. Вероятно, лишь небольшая доля биогенных металлов, присутствующих в корме, способна образовывать комплексы, легкоусвояемые организмом [17].

В текущих практиках животноводства и птицеводства корректировка минерального состава кормов является необходимой процедурой. Это обусловлено как прогрессом в генетическом потенциале животных, так и особенностями биогеохимических регионов, а также воздействием

компонентов корма на усвоение минералов и прочими факторами. Ионные формы химических элементов выступают в качестве источников необходимых веществ. Однако для них *in vivo* характерны такие недостатки, как ограниченная биодоступность, способность вызывать окислительный стресс и высокий уровень токсичности [44].

По этой причине перспективы применения металлотерапии вызывают неоднозначную реакцию, а особое внимание уделяется поиску менее токсичных источников эссенциальных химических элементов, среди которых перспективными считаются ультрадисперсные формы металлов [45].

Перспективным научным вектором выступает применение микроэлементов в ультрадисперсном состоянии. Исключительные характеристики делают их подходящими для создания медикаментов, вакцин, биологически активных добавок и пр. [46]. Ультрадисперсные микроэлементы улучшают взаимодействие с бактериями, способствуют разрушению клеточных оболочек, подавляют ферментативную активность и синтез ДНК.

Исследования демонстрируют, что микроэлементы в форме ультрадисперсных частиц характеризуются повышенной биодоступностью по сравнению с традиционно используемыми в кормах неорганическими соединениями, такими как оксиды, сульфаты и карбонаты [47, 48]. Более того, ультрадисперсным частицам приписываются широкий спектр свойств, включая антибактериальное, антигрибковое, противовирусное, антипротозойное и антиоксидантное действие. Благодаря этим свойствам они могут служить альтернативным решением антибиотикам, стимулируя здоровье и рост животных [49].

Е.В. Шейда и соавт. (2022 г.) установили, что дополнительное включение микроэлемента цинка в различных дозировках оказывало позитивное влияние на переваримость СВ лузги подсолнечника и течение метаболических процессов в модели рубца квачных. Максимально эффективное использование показал опытный образец, включающий лузгу, подвергнутую механическому измельчению, плюс гидромодуль (вода), плюс обработку УЗ (20 °С, 15 мин., 27 кГц) с дополнительным внесением ультрадисперсных частиц Zn в дозировке 3,0 мг на 1 кг СВ рациона [50].

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-16-00111.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zhao J., Li Z., Lyu M., Liu L., Piao X., Li D. Evaluation of available energy and total tract digestibility of acid-hydrolyzed ether extract of cottonseed oil for growing pigs by the difference and regression methods. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2017; 30(5): 712–719.
<https://doi.org/10.5713/ajas.16.0546>

Применение ультрадисперсных частиц меди и железа, как утверждают в своей работе О.В. Кван и др. (2024 г.), оказывает влияние на состав микробного сообщества кишечника у птицы. Согласно полученным данным, ультрадисперсные частицы *Fe* позволяют сохранить нормальное разнообразие пищеварительной микробиоты птицы, что было выражено в том числе в уменьшении численности представителей семейства *Enterobacteriaceae*, в число которых входят представители патогенных и условно-патогенных таксонов, в то время как внесение ультрадисперсных частиц *Cu* способствовало повышению численности представителей данного семейства [51].

Таким образом, существуют различные подходы к снижению эндогенных потерь минеральных веществ у сельскохозяйственных животных. Но активное развитие нанотехнологий и создание веществ наноразмерного диапазона с уникальными свойствами открывают новые возможности для решения вышеуказанных проблем.

Выводы/Conclusions

Эндогенные потери питательных веществ — это неизбежный, но управляемый процесс в организме сельскохозяйственных животных. Знание механизмов этих потерь и их биологической значимости позволяет не только повысить продуктивность животных, но и улучшить экологическую устойчивость сельского хозяйства.

Современные методы кормления, использование ферментов, минеральных добавок и правильная селекция позволяют значительно уменьшить потери питательных веществ, что является важным шагом на пути к более эффективному и устойчивому животноводству.

На основании литературных данных для минимизации эндогенных потерь минералов в животноводстве рекомендуется совершенствовать кормовые рационы, применять минеральные подкормки и учитывать условия содержания скота.

Дефицит минеральных элементов в питании вызывает сбои и расстройства минерального метаболизма, что негативно отражается на продуктивности и репродуктивных способностях животных.

All authors bear responsibility for the work and presented data.
All authors made an equal contribution to the work.
The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.
The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation № 25-16-00111.

REFERENCES

1. Zhao J., Li Z., Lyu M., Liu L., Piao X., Li D. Evaluation of available energy and total tract digestibility of acid-hydrolyzed ether extract of cottonseed oil for growing pigs by the difference and regression methods. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2017; 30(5): 712–719.
<https://doi.org/10.5713/ajas.16.0546>

2. Сидельникова В.И., Черницкий А.Е., Рецкий М.И. Эндогенная интоксикация и воспаление: последовательность реакций и информативность маркеров (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2015; 50(2): 152–161.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.2.152rus>
3. Jaworski N.W., Stein H.H. Disappearance of nutrients and energy in the stomach and small intestine, cecum, and colon of pigs fed corn-soybean meal diets containing distillers dried grains with solubles, wheat middlings, or soybean hulls. *Journal of Animal Science*. 2017; 95(2): 727–739.
<https://doi.org/10.2527/jas.2016.0752>
4. Lyu Z.Q. et al. Adaptation duration for net energy determination of high fiber diets in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 2018; 241: 15–26.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.04.008>
5. Araújo C.S.S. et al. Different dietary trace mineral sources for broiler breeders and their progenies. *Poultry Science*. 2019; 98(10): 4716–4721.
<https://doi.org/10.3382/ps/pez182>
6. Кван О.В. Эндогенные потери веществ: оптимизация микронутриентной обеспеченности рационов сельскохозяйственных животных (обзор). *Животноводство и кормопроизводство*. 2023; 106(4): 148–163.
<https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-148>
7. Гамко Л.Н., Гулаков А.Н., Новикова Е.В., Ряжнов А.А. Влияние природных минеральных добавок на продуктивность молодняка крупного рогатого скота. *Таврический научный обозреватель*. 2016; (5–2): 106–110.
<https://www.elibrary.ru/wckxlv>
8. Сабитов М.Т., Фархутдинова А.Р., Фархутдинов И.М., Маликова М.Г. Экономическая эффективность скармливания комплексной минерально-витаминной кормовой добавки «Надежда» в составе рациона телят. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2020; (1): 106–110.
<https://doi.org/10.31563/1684-7628-2020-53-1-106-110>
9. Богданович Д.М., Разумовский Н.П. Природный микробный комплекс в кормлении молодняка крупного рогатого скота. *Инновационное развитие аграрно-пищевых технологий. Материалы Международной научно-практической конференции*. М.: Сфера. 2020; 22–26.
<https://www.elibrary.ru/bmqjai>
10. Арылов Ю.Н., Убушаев Б.С., Мороз Н.Н. Влияние концентрации минеральных веществ в рационе на использование питательных веществ жвачными животными. *Аграрная наука*. 2017; (11–12): 50–52.
<https://www.elibrary.ru/qimnjv>
11. Jiao L. et al. Preparation, characterization, antimicrobial and cytotoxicity studies of copper/zinc-loaded montmorillonite. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2017; 8: 27.
<https://doi.org/10.1186/s40104-017-0156-6>
12. Marques R.S. et al. Effects of organic or inorganic cobalt, copper, manganese, and zinc supplementation to late-gestating beef cows on productive and physiological responses of the offspring. *Journal of Animal Science*. 2016; 94(3): 1215–1226.
<https://doi.org/10.2527/jas.2015-0036>
13. Воронцов Г.П., Антонов В.Н. Влияние микроэлементного статуса на воспроизводительную функцию у крупного рогатого скота. *StudNet*. 2022; 5(2): 956–971.
<https://www.elibrary.ru/tmhfh>
14. Каримова М.О., Иргашев Т.А., Байгенов Ф.Н., Косилов В.И., Ребезов М.Б. Метаболизм незаменимых аминокислот в организме телят под влиянием кормовой добавки. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020; (4): 302–306.
<https://www.elibrary.ru/iujjra>
15. Костомахин Н.М., Иванова А.С. Влияние биоплексов цинка и меди на морфологические и биохимические показатели крови и молочную продуктивность коров. *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2019; (6): 23–28.
<https://www.elibrary.ru/azxynl>
16. Разумовский Н.П. Как нормализовать рубцовое пищеварение у коров. *Наше сельское хозяйство*. 2020; (2): 22–29.
<https://www.elibrary.ru/lealvy>
17. Espinosa C.D., Stein H.H. Digestibility and metabolism of copper in diets for pigs and influence of dietary copper on growth performance, intestinal health, and overall immune status: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021; 12: 13.
<https://doi.org/10.1186/s40104-020-00533-3>
18. Ebbing M.A. et al. An investigation on iron sources fed to broiler breeder hens and the corresponding color of laid eggshells on the performance of the resulting progeny. *Journal of Applied Poultry Research*. 2019; 28(1): 184–193.
<https://doi.org/10.3382/japr/pfy064>
19. Byrne L., Murphy R.A. Relative Bioavailability of Trace Minerals in Production Animal Nutrition: A Review. *Animals*. 2022; 12(15): 1981.
<https://doi.org/10.3390/ani12151981>
2. Sidelnikova V.I., Chernitsky A.E., Retsky M.I. Endogenous intoxication and inflammation: reaction sequence and informativity of the markers (review). *Agricultural Biology*. 2015; 50(2): 152–161.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.2.152eng>
3. Jaworski N.W., Stein H.H. Disappearance of nutrients and energy in the stomach and small intestine, cecum, and colon of pigs fed corn-soybean meal diets containing distillers dried grains with solubles, wheat middlings, or soybean hulls. *Journal of Animal Science*. 2017; 95(2): 727–739.
<https://doi.org/10.2527/jas.2016.0752>
4. Lyu Z.Q. et al. Adaptation duration for net energy determination of high fiber diets in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 2018; 241: 15–26.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.04.008>
5. Araújo C.S.S. et al. Different dietary trace mineral sources for broiler breeders and their progenies. *Poultry Science*. 2019; 98(10): 4716–4721.
<https://doi.org/10.3382/ps/pez182>
6. Kvan O.V. Endogenous losses of substances: optimization of micronutrient supply of farm animal diets (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023; 106(4): 148–163 (in Russian).
<https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-148>
7. Gamko L.N., Gulakov A.N., Novikova E.V., Ryazhnov A.A. Influence of natural mineral additives on productivity of young cattle. *Tavricheskiy nauchnyy obozrevatel'*. 2016; (5–2): 106–110 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/wckxlv>
8. Sabitov M.T., Farkhutdinova A.R., Farkhutdinov I.M., Malikova M.G. Economic efficiency of complex mineral and vitamin feed supplement «Nadezhda» in the diet of calves. *Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2020; (1): 106–110 (in Russian).
<https://doi.org/10.31563/1684-7628-2020-53-1-106-110>
9. Bogdanovich D.M., Razumovsky N.P. Natural microbial complex in feeding young cattle. Innovative development of agro-food technologies. *Proceedings of the International scientific and practical conference*. Moscow: Sfera. 2020; 22–26 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/bmqjai>
10. Arylov Yu.N., Ubushaev B.S., Moroz N.N. The influence of the concentration of minerals in the feeding regime on nutrient utilization by ruminants. *Agrarian science*. 2017; (11–12): 50–52 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/qimnjv>
11. Jiao L. et al. Preparation, characterization, antimicrobial and cytotoxicity studies of copper/zinc-loaded montmorillonite. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2017; 8: 27.
<https://doi.org/10.1186/s40104-017-0156-6>
12. Marques R.S. et al. Effects of organic or inorganic cobalt, copper, manganese, and zinc supplementation to late-gestating beef cows on productive and physiological responses of the offspring. *Journal of Animal Science*. 2016; 94(3): 1215–1226.
<https://doi.org/10.2527/jas.2015-0036>
13. Vorontsov G.P., Antonov V.N. Trace element status influence on reproductive function in cattle. *StudNet*. 2022; 5(2): 956–971 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/tmhfh>
14. Karimova M.O., Irgashev T.A., Baygenov F.N., Kosilov V.I., Rebezov M.B. Metabolism of essential amino acids in the calf body under the influence of the fodder additive. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; (4): 302–306 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/iujjra>
15. Kostomakhin N.M., Ivanova A.S. The influence of bioplexes of zinc and copper on morphological and biochemical blood parameters and milk productivity of cows. *Feeding of agricultural animals and feed production*. 2019; (6): 23–28 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/azxynl>
16. Razumovsky N.P. How to normalize rumen digestion in cows. *Nashe sel'skoye khozyaystvo*. 2020; (2): 22–29 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/lealvy>
17. Espinosa C.D., Stein H.H. Digestibility and metabolism of copper in diets for pigs and influence of dietary copper on growth performance, intestinal health, and overall immune status: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021; 12: 13.
<https://doi.org/10.1186/s40104-020-00533-3>
18. Ebbing M.A. et al. An investigation on iron sources fed to broiler breeder hens and the corresponding color of laid eggshells on the performance of the resulting progeny. *Journal of Applied Poultry Research*. 2019; 28(1): 184–193.
<https://doi.org/10.3382/japr/pfy064>
19. Byrne L., Murphy R.A. Relative Bioavailability of Trace Minerals in Production Animal Nutrition: A Review. *Animals*. 2022; 12(15): 1981.
<https://doi.org/10.3390/ani12151981>

20. Sai Kumar B.A.A. Hormonal Regulation of Metabolism, Water, and Minerals. Das P.K., Sejian V., Mukherjee J., Banerjee D. (eds.). Textbook of Veterinary Physiology. Singapore: Springer. 2023; 391–415. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9410-4_16
21. De Grande A. *et al.* Dietary zinc source impacts intestinal morphology and oxidative stress in young broilers. *Poultry Science*. 2020; 99(1): 441–453. <https://doi.org/10.3382/ps/pez525>
22. Lv G. *et al.* Effects of Different Trace Elements and Levels on Nutrients and Energy Utilization, Antioxidant Capacity, and Mineral Deposition of Broiler Chickens. *Agriculture*. 2023; 13(7): 1369. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071369>
23. Каримова А.М., Сизова Е.А. Использование азота и обменной энергии у полигастрических животных при скармливании в составе рациона микроэлементов в ультрадисперсной форме. *Сборник научных трудов КНЦЭВ*. 2022; 11(1): 51–54. <https://doi.org/10.48612/sbornik-2022-1-10>
24. Курилкина М.Я., Холодилина Т.Н., Муслюмова Д.М., Атландерова К.Н., Завьялов О.А. Воздействие высокодисперсных частиц металлов на переваримость питательных веществ и обмен энергии в организме молодняка крупного рогатого скота. *Вестник мясного скотоводства*. 2017; (4): 197–203. <https://www.elibrary.ru/kasrfi>
25. Абрамов С.С., Горидовец Е.В., Соболев Д.Т. Динамика некоторых показателей минерального и витаминного обмена у высокопродуктивных коров при лечении внутренней полиморбидной патологии. Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины». 2017; 53(3): 3–6. <https://www.elibrary.ru/zqnwej>
26. Fisinin V.I., Miroshnikov S.A., Sizova E.A., Ushakov A.S., Miroshnikova E.P. Metal particles as trace-element sources: current state and future prospects. *World's Poultry Science Journal*. 2018; 74(3): 523–540. <https://doi.org/10.1017/S0043933918000491>
27. Prasad R., Bhattacharyya A., Nguyen Q.D. Nanotechnology in Sustainable Agriculture: Recent Developments, Challenges, and Perspectives. *Frontiers in Microbiology*. 2017; 8: 1014. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01014>
28. Сизова Е.А., Королев В.Л., Макаев Ш.А., Мирошникова Е.П., Шахов В.А. Морфобиохимические показатели крови у бройлеров при коррекции рациона солями и наночастицами Cu. *Сельскохозяйственная биология*. 2016; 51(6): 903–911. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.6.903rus>
29. Brown K. *et al.* Microbiota alters the metabolome in an age- and sex-dependent manner in mice. *Nature Communications volume*. 2023; 14: 1348. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37055-1>
30. Шошин Д.Е., Ерофеев Н.Г., Сизова Е.А., Павлова М.Ю. Стress как лимитирующий фактор в животноводстве (обзор). *Животноводство и кормопроизводство*. 2024; 107(3): 138–162. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-138>
31. Спешилова Н.В., Косилов В.И., Андриенко Д.А. Производственный потенциал молочного скотоводства на Южном Урале. *Вестник мясного скотоводства*. 2014; (3): 69–75. <https://www.elibrary.ru/ssyior>
32. Капланов М.Т., Исякаева Р.Р. Оптимизация технологии кормления лабораторных животных при помощи экспериментальных комплексов. *Современные вопросы биомедицины*. 2023; 7(4): 11. https://doi.org/10.24412/2588-0500-2023_07_04_11
33. Chrystal P.V., Moss A.F., Khoddami A., Naranjo V.D., Selle P.H., Liu S.Y. Effects of reduced crude protein levels, dietary electrolyte balance, and energy density on the performance of broiler chickens offered maize-based diets with evaluations of starch, protein, and amino acid metabolism. *Poultry Science*. 2020; 99(3): 1421–1431. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.060>
34. Усманова Е.Н., Зубченко Д.В., Остапчук П.С., Куевда Т.А. Селекция мясного скота на повышение эффективности использования корма. *Известия Нижневолзского агрониверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2022; (4): 270–286. <https://www.elibrary.ru/usetwo>
35. Mion B. *et al.* Effects of replacing inorganic salts of trace minerals with organic trace minerals in pre- and postpartum diets on feeding behavior, rumen fermentation, and performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2022; 105(8): 6693–6709. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21908>
36. Li J. *et al.* Zinc Intakes and Health Outcomes: An Umbrella Review. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 798078. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.798078>
37. Molenda M., Kolmas J. The Role of Zinc in Bone Tissue Health and Regeneration — a Review. *Biological Trace Element Research*. 2023; 201(12): 5640–5651. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-03631-1>
20. Sai Kumar B.A.A. Hormonal Regulation of Metabolism, Water, and Minerals. Das P.K., Sejian V., Mukherjee J., Banerjee D. (eds.). Textbook of Veterinary Physiology. Singapore: Springer. 2023; 391–415. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9410-4_16
21. De Grande A. *et al.* Dietary zinc source impacts intestinal morphology and oxidative stress in young broilers. *Poultry Science*. 2020; 99(1): 441–453. <https://doi.org/10.3382/ps/pez525>
22. Lv G. *et al.* Effects of Different Trace Elements and Levels on Nutrients and Energy Utilization, Antioxidant Capacity, and Mineral Deposition of Broiler Chickens. *Agriculture*. 2023; 13(7): 1369. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071369>
23. Karimova A.M., Sizova E.A. Use of nitrogen and metabolic energy in polygastric animals when feeding the diet with microelements in the ultradispersed form. *Collection of Scientific Papers of KRCAHVM*. 2022; 11(1): 51–54 (in Russian). <https://doi.org/10.48612/sbornik-2022-1-10>
24. Kurilkina M.Ya., Kholodilina T.N., Muslyumova D.M., Atlanderova K.N., Zavyalov O.A. The effect of finely dispersed metal particles on the digestibility of nutrients and energy exchange in the body of young cattle. *Herald of beef cattle breeding*. 2017; (4): 197–203 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/kasrfi>
25. Abramov S.S., Goridovets E.V., Sobolev D.T. Dynamics of some indices of mineral and vitamin metabolism at high-yielding cows in the treatment of polymorbid internal pathology. Scientific notes of the educational institution «Vitebsk Order “Badge of Honor” State Academy of Veterinary Medicine». 2017; 53(3): 3–6 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zqnwej>
26. Fisinin V.I., Miroshnikov S.A., Sizova E.A., Ushakov A.S., Miroshnikova E.P. Metal particles as trace-element sources: current state and future prospects. *World's Poultry Science Journal*. 2018; 74(3): 523–540. <https://doi.org/10.1017/S0043933918000491>
27. Prasad R., Bhattacharyya A., Nguyen Q.D. Nanotechnology in Sustainable Agriculture: Recent Developments, Challenges, and Perspectives. *Frontiers in Microbiology*. 2017; 8: 1014. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01014>
28. Sizova E.A., Korolev V.L., Makaev Sh.A., Miroshnikova E.P., Shakhov V.A. Morphological and biochemical blood parameters in broilers at correction with dietary copper salts and nanoparticles. *Agricultural Biology*. 2016; 51(6): 903–911. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.6.903eng>
29. Brown K. *et al.* Microbiota alters the metabolome in an age- and sex-dependent manner in mice. *Nature Communications volume*. 2023; 14: 1348. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37055-1>
30. Shoshin D.E., Erofeev N.G., Sizova E.A., Pavlova M.Yu. Stress as a limiting factor in animal husbandry (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024; 107(3): 138–162 (in Russian). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-3-138>
31. Speshilova N.V., Kosilov V.I., Andrienko D.A. Production potential of dairy cattle breeding in the Southern Urals. *Herald of beef cattle breeding*. 2014; (3): 69–75. <https://www.elibrary.ru/ssyior>
32. Kaplanov M.T., Isyakaeva R.R. Optimizing technologies of feeding laboratory animals with the experimental compound feed. *Modern Issues of Biomedicine*. 2023; 7(4): 11 (in Russian). https://doi.org/10.24412/2588-0500-2023_07_04_11
33. Chrystal P.V., Moss A.F., Khoddami A., Naranjo V.D., Selle P.H., Liu S.Y. Effects of reduced crude protein levels, dietary electrolyte balance, and energy density on the performance of broiler chickens offered maize-based diets with evaluations of starch, protein, and amino acid metabolism. *Poultry Science*. 2020; 99(3): 1421–1431. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.060>
34. Usmanova E.N., Zubchenko D.V., Ostapchuk P.S., Kuevda T.A. Breeding of beef cattle to increase the efficiency of feed intake. *Proceedings of Nizhnevолжский агрониверситетский комплекс: наука и высшая професиональная образование*. 2022; (4): 270–286 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/usetwo>
35. Mion B. *et al.* Effects of replacing inorganic salts of trace minerals with organic trace minerals in pre- and postpartum diets on feeding behavior, rumen fermentation, and performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2022; 105(8): 6693–6709. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21908>
36. Li J. *et al.* Zinc Intakes and Health Outcomes: An Umbrella Review. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 798078. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.798078>
37. Molenda M., Kolmas J. The Role of Zinc in Bone Tissue Health and Regeneration — a Review. *Biological Trace Element Research*. 2023; 201(12): 5640–5651. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-03631-1>

38. Roeber F., Jex A.R., Gasser R.B. Impact of gastrointestinal parasitic nematodes of sheep, and the role of advanced molecular tools for exploring epidemiology and drug resistance — an Australian perspective. *Parasites & Vectors*. 2013; 6: 153. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-6-153>
39. Reed R.G., Raison C.L. Stress and the Immune System. Esser C. (ed.). Environmental Influences on the Immune System. Vienna: Springer, 2016; 97–126. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1890-0_5
40. Li W., Angel R., Plumstead P.W., Enting H. Effects of limestone particle size, phytate, calcium source, and phytase on standardized ileal calcium and phosphorus digestibility in broilers. *Poultry Science*. 2021; 100(2): 900–909. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.075>
41. Beane K.E. *et al.* Effects of dietary fibers, micronutrients, and phytonutrients on gut microbiome: a review. *Applied Biological Chemistry*. 2021; 64: 36. <https://doi.org/10.1186/s13765-021-00605-6>
42. Yang Z. *et al.* Preliminary analysis showed country-specific gut resistome based on 1267 feces samples. *Gene*. 2016; 581(2): 178–182. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2016.01.043>
43. Scherzad A., Meyer T., Kleinsasser N., Hackenberg S. Molecular Mechanisms of Zinc Oxide Nanoparticle-Induced Genotoxicity. *Materials*. 2017; 10(12): 1427. <https://doi.org/10.3390/ma10121427>
44. Uerlings J. *et al.* *in vitro* prebiotic potential of agricultural by-products on intestinal fermentation, gut barrier and inflammatory status of piglets. *British Journal of Nutrition*. 2020; 123(3): 293–307. <https://doi.org/10.1017/S0007114519002873>
45. Fan X., Yang F., Nie C., Ma L., Cheng C., Haag R. Biocatalytic Nanomaterials: A New Pathway for Bacterial Disinfection. *Advanced Materials*. 2021; 33(33): 2100637. <https://doi.org/10.1002/adma.202100637>
46. Patra A., Lalhriatpui M. Progress and Prospect of Essential Mineral Nanoparticles in Poultry Nutrition and Feeding — a Review. *Biological Trace Element Research*. 2020; 197(1): 233–253. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01959-1>
47. Adegbeye M.J. *et al.* Nanoparticles in Equine Nutrition: Mechanism of Action and Application as Feed Additives. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2019; 78: 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2019.04.001>
48. Bhagat S., Singh S. Nanominerals in nutrition: Recent developments, present burning issues and future perspectives. *Food Research International*. 2022; 160: 111703. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111703>
49. Mohd Yusof H., Mohamad R., Zaidan U.H., Abdul Rahman N.A. Microbial synthesis of zinc oxide nanoparticles and their potential application as an antimicrobial agent and a feed supplement in animal industry: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2019; 10: 57. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0368-z>
50. Шейда Е.В., Мирошников С.А., Дускаев Г.К., Рязанов В.А., Гречкина В.В. Изменение параметров рубцового содержимого *in vitro* при использовании луги подсолнечника и цинка в ультрадисперсной форме. *Аграрная наука*. 2022; (6): 43–47. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-43-47>
51. Кван О.В., Сизова Е.А., Вершинина И.А. Влияние ультрадисперсных частиц меди и железа на микробиоценоз кишечника цыплят-бройлеров. *Аграрная наука*. 2024; (2): 61–65. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-61-65>
38. Roeber F., Jex A.R., Gasser R.B. Impact of gastrointestinal parasitic nematodes of sheep, and the role of advanced molecular tools for exploring epidemiology and drug resistance — an Australian perspective. *Parasites & Vectors*. 2013; 6: 153. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-6-153>
39. Reed R.G., Raison C.L. Stress and the Immune System. Esser C. (ed.). Environmental Influences on the Immune System. Vienna: Springer, 2016; 97–126. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1890-0_5
40. Li W., Angel R., Plumstead P.W., Enting H. Effects of limestone particle size, phytate, calcium source, and phytase on standardized ileal calcium and phosphorus digestibility in broilers. *Poultry Science*. 2021; 100(2): 900–909. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.075>
41. Beane K.E. *et al.* Effects of dietary fibers, micronutrients, and phytonutrients on gut microbiome: a review. *Applied Biological Chemistry*. 2021; 64: 36. <https://doi.org/10.1186/s13765-021-00605-6>
42. Yang Z. *et al.* Preliminary analysis showed country-specific gut resistome based on 1267 feces samples. *Gene*. 2016; 581(2): 178–182. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2016.01.043>
43. Scherzad A., Meyer T., Kleinsasser N., Hackenberg S. Molecular Mechanisms of Zinc Oxide Nanoparticle-Induced Genotoxicity. *Materials*. 2017; 10(12): 1427. <https://doi.org/10.3390/ma10121427>
44. Uerlings J. *et al.* *in vitro* prebiotic potential of agricultural by-products on intestinal fermentation, gut barrier and inflammatory status of piglets. *British Journal of Nutrition*. 2020; 123(3): 293–307. <https://doi.org/10.1017/S0007114519002873>
45. Fan X., Yang F., Nie C., Ma L., Cheng C., Haag R. Biocatalytic Nanomaterials: A New Pathway for Bacterial Disinfection. *Advanced Materials*. 2021; 33(33): 2100637. <https://doi.org/10.1002/adma.202100637>
46. Patra A., Lalhriatpui M. Progress and Prospect of Essential Mineral Nanoparticles in Poultry Nutrition and Feeding — a Review. *Biological Trace Element Research*. 2020; 197(1): 233–253. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01959-1>
47. Adegbeye M.J. *et al.* Nanoparticles in Equine Nutrition: Mechanism of Action and Application as Feed Additives. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2019; 78: 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2019.04.001>
48. Bhagat S., Singh S. Nanominerals in nutrition: Recent developments, present burning issues and future perspectives. *Food Research International*. 2022; 160: 111703. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111703>
49. Mohd Yusof H., Mohamad R., Zaidan U.H., Abdul Rahman N.A. Microbial synthesis of zinc oxide nanoparticles and their potential application as an antimicrobial agent and a feed supplement in animal industry: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2019; 10: 57. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0368-z>
50. Sheida E.V., Miroshnikov S.A., Duskaev G.K., Ryazanov V.A., Grechkin V.V. Changes in the parameters of ruminal digesta *in vitro* when using sunflower husk and zinc in ultrafine form. *Agrarian science*. 2022; (6): 43–47 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-43-47>
51. Kvan O.V., Sizova E.A., Vershinina I.A. Influence of ultrafine particles of copper and iron on the intestinal microbiocenosis of broiler chicken. *Agrarian science*. 2024; (2): 61–65 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-61-65>

ОБ АВТОРАХ

Виктория Владимировна Гречкина^{1,2}

кандидат биологических наук
Viktoria1985too@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1159-0531>

Елена Владимировна Шейда^{1,3}

доктор биологических наук
elena-shejda@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2586-613>

Ольга Вилориевна Кван^{1,3}

доктор биологических наук
kwan111@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Михаил Александрович Десятков^{1,2}

лаборант-исследователь
garfield5676@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-0719-2313>

ABOUT THE AUTHORS

Viktoria Vladimirovna Grechkina^{1,2}

Candidate of Biological Sciences
Viktoria1985too@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Elena Vladimirovna Sheida^{1,3}

Doctor of Biological Sciences
elena-snejda@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2586-613>

Olga Vilorievna Kvan^{1,3}

Doctor of Biological Sciences
kwan111@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Mikhail Alexandrovich Desyatkov^{1,2}

Laboratory Researcher
garfield5676@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-0719-2313>

Наталья Владимировна Соболева²
 кандидат сельскохозяйственных наук
 natalya.soboleva12@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3688-2303>

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, ул. 9 Января, 29, Оренбург, 460000, Россия

²Оренбургский государственный аграрный университет, ул. Челюскинцев, 18, Оренбург, 460014, Россия

³Оренбургский государственный университет, пр-т Победы, 13, Оренбург, 460018, Россия

Natalia Vladimirovna Soboleva²
 Candidate of Agricultural Sciences
 natalya.soboleva12@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3688-2303>

¹Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 January 9th Str., Orenburg, 460000, Russia

²Orenburg State Agrarian University, 18 Chelyuskintsev Str., Orenburg, 460014, Russia

³Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russia

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN SCIENCE

Ежемесячный научно-теоретический и производственный журнал выходит один раз в месяц.



Научно-теоретический и производственный журнал «Аграрная наука» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (К1, К2), в список Russian Science Citation Index (RSCI), в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), в ядро РИНЦ, «Белый список» ВАК РФ, в список периодических изданий Международной базы данных AGRIS (ГНУ ЦНСХБ Россельхозакадемии).

Ознакомиться с информацией о перечне специальностей ВАК и итоговом распределении журналов по категориям можно здесь:



Приравнивание научных журналов, входящих в наукометрические базы данных, к журналам Перечня ВАК с распределением по категориям:



Согласно приведенным данным, журнал «Аграрная наука» относится к категории К1.

Подобную информацию о журнале можно получить у научного редактора М.Н. Долгой
 +7 (495) 777 67 67 (доб. 1453)
 dolgaya@vicgroup.ru

Реклама