

Научная статья
УДК 619:616-097:636.2
doi: 10.48612/vch/xmm9-36ng-pg1z

ИММУНОДЕФИЦИТЫ У КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА: ФАКТОРЫ РИСКА И СТРАТЕГИИ КОРРЕКЦИИ

Владимир Григорьевич Семенов, Дмитрий Анатольевич Никитин, Валерий Викторович Боронин,
Елена Павловна Симурзина, Анна Вячеславовна Лузова
Чувашский государственный аграрный университет
428003, г. Чебоксары, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается проблема неинфекционных иммунодефицитов у крупного рогатого скота, обусловленных генетическими, алиментарными и метаболическими факторами. В условиях интенсификации животноводства и возрастающей нагрузки на иммунную систему животных, данная проблема приобретает особую актуальность, поскольку неинфекционные иммунодефициты приводят к повышенной восприимчивости к инфекциям, снижению продуктивности, увеличению затрат на лечение и профилактику заболеваний и, как следствие, к значительным экономическим потерям. В работе на основе отечественных и зарубежных источников литературы анализируются ключевые факторы, влияющие на резистентность организма скота, включая дисбаланс питательных веществ, наличие токсинов в кормах, загрязнение внешней среды, а также технологические стресс-факторы. Особое внимание уделяется генетической предрасположенности к иммунодефицитам и роли мутаций в генах, кодирующих компоненты иммунной системы. Нами подробно рассмотрено влияние несбалансированного кормления, дефицита витаминов и микроэлементов, микотоксинов, пестицидов, тяжелых металлов, а также метаболических нарушений (кетоз, ацидоз) на иммунную систему животных. В статье мы также привели стратегии иммунокоррекции, включая использование иммуностимуляторов и адаптогенов для повышения общей сопротивляемости организма и улучшения адаптации к стрессовым факторам. Подчеркивается важность разработки инъекционных препаратов, сочетающих иммуностимулирующие свойства полисахаридных комплексов дрожжевых клеток с адаптогенным эффектом селена, для оптимизации иммунного статуса и повышения резистентности крупного рогатого скота.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, неинфекционные иммунодефициты, стресс-факторы, адаптация, резистентность, иммуностимуляторы, адаптогены.

Для цитирования: Семенов В. Г., Никитин Д. А., Боронин В. В., Симурзина Е. П., Лузова А. В. Иммунодефициты у крупного рогатого скота: факторы риска и стратегии коррекции // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2025 №3(34). С. 103-112.

doi: 10.48612/vch/xmm9-36ng-pg1z

Original article

IMMUNODEFICIENCIES IN CATTLE: RISK FACTORS AND CORRECTION STRATEGIES

Vladimir G. Semenov, Dmitry A. Nikitin, Valery V. Boronin, Elena P. Simurzina, Anna V. Luzova
Chuvash State Agrarian University
428003, Cheboksary, Russian Federation

Abstract. This article addresses the problem of non-infectious immunodeficiencies in cattle, caused by genetic, alimentary, and metabolic factors. In the context of intensified animal husbandry and increasing strain on the animals' immune systems, this problem is becoming particularly relevant, as non-infectious immunodeficiencies lead to increased susceptibility to infections, reduced productivity, increased costs for disease treatment and prevention, and, consequently, significant economic losses. Based on domestic and foreign literature sources, this study analyzes key factors influencing the resistance of the animal's organism, including nutrient imbalances, the presence of toxins in feed, environmental pollution, and technological stress factors. Particular attention is paid to genetic predisposition to immunodeficiencies and the role of mutations in genes encoding components of the immune system. We have thoroughly examined the impact of unbalanced feeding, vitamin and mineral deficiencies, mycotoxins, pesticides, heavy metals, and metabolic disorders (ketosis, acidosis) on the immune system of animals. The article also presents immunocorrection strategies, including the use of immunostimulants and adaptogens to enhance the overall resistance of the organism and improve adaptation to stress factors. The importance of developing injectable preparations combining the immunostimulatory properties of yeast polysaccharide complexes with the adaptogenic effect of selenium is emphasized, aiming to optimize the immune status and increase the resistance of cattle.

Keywords: cattle, non-infectious immunodeficiencies, stress factors, adaptation, resistance, immunostimulants, adaptogens.

For citation: Semenov V. G., Nikitin D. A., Boronin V. V., Simurzina E. P., Luzova A. V. Immunodeficiencies in cattle: risk factors and correction strategies // Vestnik Chuvash State Agrarian University. 2025 No. 3(34). Pp. 103-112.
doi: 10.48612/vch/xmm9-36ng-pg1z

Введение.

Неинфекционные иммунодефициты у крупного рогатого скота представляют собой серьезную проблему, приводящую к повышенной восприимчивости к инфекциям, снижению продуктивности и экономическим потерям. В отличие от инфекционных иммунодефицитов, вызванных вирусными или бактериальными агентами, неинфекционные возникают вследст-

вие генетических, метаболических, алиментарных, токсических и производственных факторов, нарушающих нормальное функционирование иммунной системы.

Согласно исследованиям М. И. Барашкина (2015), снижение естественной резистентности животных обусловлено комплексом взаимосвязанных факторов. Ключевыми из них являются:

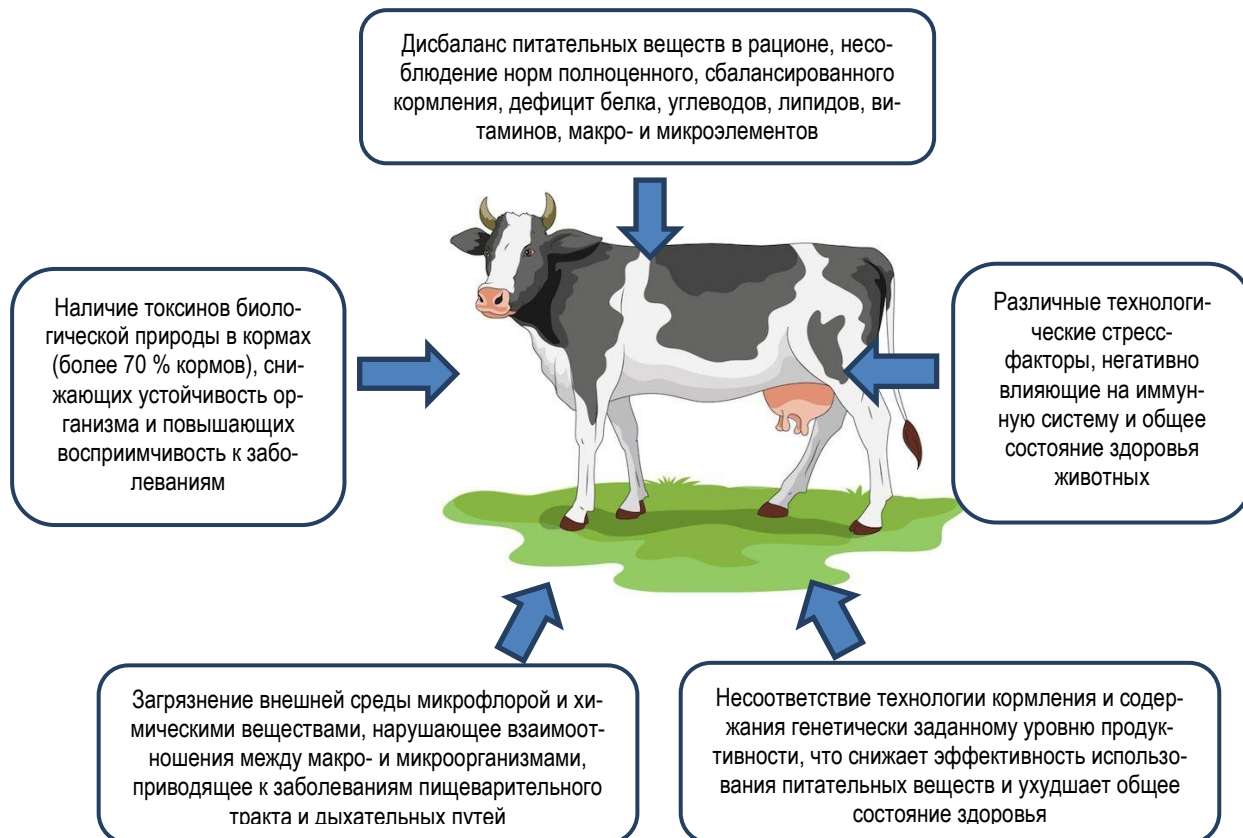


Рис. 1. Влияние факторов внешней среды на резистентность организма
Fig. 1. The influence of environmental factors on the body's resistance

Ряд исследований указывает на генетическую предрасположенность к неинфекционным иммунодефицитам у крупного рогатого скота (КРС). Мутации в генах, кодирующих ключевые компоненты иммунной системы, такие как лимфоцитарные рецепторы, цитокины и молекулы главного комплекса гистосовместимости, могут приводить к нарушению иммунного ответа [19]. Например, работы S. C. Bishop et al. (2014) идентифицировали связь между определенными локусами и повышенной восприимчивостью к респираторным заболеваниям у телят. Исследования Н. В. Елифанцева (2023) также указывают на роль полиморфизма генов цитокинов (IL-2, IL-10, TNF- α) в развитии иммунодефицитных состояний. Кроме того, селекция на высокую продуктивность, без учета иммунных показателей, может приводить к закреплению генов, обуславливающих иммуносупрессию.

Несбалансированное кормление является одной из основных причин неинфекционных форм иммунной недостаточности у крупного рогатого скота. Дефицит энергии, белка, витаминов (A, D, E) и микроэлементов (Se, Zn, Cu) оказывает негативное влияние на разви-

тие и функционирование иммунной системы. В обзорах подробно рассмотрено влияние дефицита витаминов и микроэлементов на иммунный ответ у скота. Множество исследований подчеркивают важность обеспечения оптимального уровня селена для функционирования глутатионпероксидазы, ключевого антиоксидантного фермента, защищающего иммунные клетки от повреждений. Кроме того, дефицит незаменимых аминокислот может нарушать синтез антител и цитокинов [25].

Метаболические нарушения, такие как кетоз и ацидоз, часто возникают у высокопродуктивных молочных коров и оказывают иммуносупрессивное действие. В работе показано, что кетоз подавляет функцию нейтрофилов и лимфоцитов, повышая восприимчивость к маститу и другим инфекциям [22]. Ацидоз, в свою очередь, может нарушать кислотно-щелочной баланс и влиять на активность ферментов, участвующих в иммунном ответе. Ожирение также может оказывать негативное влияние на иммунную систему, изменяя продукцию адипокинов, имеющих иммуномодулирующее действие.

Воздействие микотоксинов, пестицидов и тяжелых металлов может приводить к иммунотоксичности у крупного рогатого скота. Микотоксины, такие как афлатоксины и дезоксиниваленол, обладают иммуносупрессивным действием, подавляя функцию лимфоцитов и макрофагов. Пестициды, используемые в сельском хозяйстве, также могут оказывать негативное влияние на иммунную систему, нарушая пролиферацию лимфоцитов и продукцию антител. Тяжелые металлы, такие как свинец и кадмий, могут накапливаться в организме и оказывать токсическое действие на иммунные клетки [10, 15].

Кормление коров. Рентабельность скотоводства напрямую зависит от здоровья и репродуктивной функции стада, определяемых питанием, управлением, генетикой и окружающей средой. Ключевую роль играет питание: оптимальное обеспечение позволяет животным раскрыть генетический потенциал, снижает влияние неблагоприятной среды и ошибок управления, повышая прибыль. Хотя минералы требуются в малых дозах, их влияние на метаболизм и, следовательно, на продуктивность, нельзя недооценивать.

Для нормальной жизнедеятельности животных необходимы 26 минеральных элементов. Они делятся на макро- и микроэлементы в зависимости от концентрации в организме или потребности в рационе. Микроэлементы, присутствующие в тканях в концентрациях менее 50 мг/кг и требующиеся в рационе в количествах не более 100 мг/кг, наряду с витаминами являются критически важными микронутриентами для правильного метаболизма и ферментативной активности. Несмотря на признанную важность микроэлементов для здоровья и продуктивности, особенно у лактирующих коров, их часто недооценивают в рационах быков. Это может приводить к скрытым дефицитам или дисбалансам, симптомы которых не всегда очевидны, но могут значительно снижать продуктивность. Поэтому для обеспечения оптимального здоровья и продуктивности скота крайне важно уделять особое внимание добавкам микроэлементов.

Отдельные микроэлементы могут выполнять несколько функций, а сочетание различных микроэлементов часто оказывает синергетический эффект в рамках одного биологического процесса. Например, цинк, селен и медь, работая вместе, значительно усиливают иммунную функцию организма, превосходя вклад каждого элемента по отдельности [5].

Эффективное восполнение дефицита микроэлементов сложно, поскольку оптимальная продуктивность скота зависит от его минерального статуса. Хронический дефицит представляет большую угрозу, чем острый, из-за скрытых симптомов, приводящих к нарушениям роста и воспроизводства. Сначала страдает ферментная активность и иммунитет, затем снижаются рост и фертильность, и лишь в последнюю очередь проявляются клинические признаки [3].

Оптимизация рационов сельскохозяйственных животных с включением биологически активных веществ (витаминов, макро- и микроэлементов, ферментов, антиоксидантов) является существенным фактором повышения продуктивных качеств и качества

получаемой продукции. Макро- и микроэлементы играют решающую роль в обеспечении биохимических и физиологических процессов организма, являясь кофакторами ферментов, предшественниками гормонов и витаминов, и участвуя во всех видах обмена веществ. Недостаточность минерального питания влечет за собой значительный экономический ущерб в молочном скотоводстве, обусловленный развитием алиментарно-зависимых заболеваний, таких как пастбищная тетания, родильный парез и нарушения репродуктивной функции [24].

Минеральные элементы играют незаменимую роль в обеспечении нормального функционирования организма животных на биохимическом уровне. Кальций, в частности, является не только строительным материалом для костей и зубов, но и важным участником сигнальных путей внутри клеток, регулируя активность ферментов, сокращение мышц и передачу нервных импульсов. Дефицит кальция нарушает эти процессы, приводя к различным патологическим состояниям. Фосфор, в свою очередь, участвует в синтезе АТФ, главного энергетического «топлива» для клеток, а также входит в состав нуклеиновых кислот, обеспечивающих хранение и передачу генетической информации. Нарушение фосфорного обмена влечет за собой снижение энергетического потенциала организма и нарушение генетических процессов. Магний является кофактором многих ферментов, участвующих в углеводном, жировом и белковом обменах, а также необходим для поддержания стабильности клеточных мембран. Его дефицит нарушает работу этих ферментов и может приводить к дисфункции нервной системы [26].

Железо является центральным атомом гема в гемоглобине и миоглобине, обеспечивая транспорт кислорода в крови и мышцах. Его недостаток приводит к нарушению тканевого дыхания и снижению продуктивности животных [8].

В растительных кормах ряда регионов нашей страны наблюдается дефицит йода и селена, что связано с геохимическими особенностями. Йод необходим для синтеза тиреоидных гормонов, регулирующих метаболизм, рост и развитие. Особое внимание следует уделять селену, который, несмотря на свою исключительную важность для животноводства, зачастую присутствует в кормах в недостаточном количестве. Селен является компонентом глутатионпероксидазы, важного антиоксидантного фермента, защищающего клетки от повреждений свободными радикалами [6]. Кобальт играет важную роль в здоровье крупного рогатого скота, поскольку он необходим для самостоятельного синтеза витаминов группы В и поддержания крепкого иммунитета. Однако, как и в случае с медью, селеном, марганцем и цинком, избыточное потребление кобальта может оказаться токсичным и привести к заболеваниям. Компенсация дефицита этих микроэлементов имеет важное значение для поддержания здоровья животных и обеспечения высокого качества продукции.

Стресс-факторы. В течение всего периода после рождения сельскохозяйственные животные сталкиваются с различными стрессовыми факторами.

Независимо от их происхождения, стресс приводит к снижению продуктивности, ухудшению репродуктивной функции, повышению заболеваемости, что влечет за собой экономические потери для животноводческой отрасли. Применение в животноводстве фармакологических и биологически активных веществ помогает уменьшить негативные последствия стресса, ускоряет адаптацию к неблагоприятным факторам, вызывающим напряжение центральной нервной системы, снижение иммунитета и изменение микрофлоры [17].

Механизм адаптации диких животных – филогенез, домашних – онтогенез. Условия адаптации домашних животных отличаются от диких животных: снизилось влияние климатических и пищевых факторов, возросло – патогенных микроорганизмов и токсичных веществ. Важны микроклимат, технология содержания, состав рационов. В адаптации задействованы анализаторы внешней и внутренней среды: мозг, вегетативная, соматическая, нервная, эндокринная системы, органы ЖКТ, воспроизведения, дыхания, двигательная и выделительная системы. Масштаб приспособительных способностей возрастает. Виды и популяции различаются по механизмам адаптации, характеризующим процесс адаптации, оцениваемый по физическому состоянию, продуктивности, способности к воспроизведению [11]. К ненаследственной адаптации относятся воспринятые повадки, навыки и физиологические реакции, сохраняющие гомеостаз. Адаптационный синдром (стресс) формируется при воздействии раздражителей. Стрессорные факторы имеют разную природу и силу воздействия. В животноводческих комплексах и фермах встречаются стрессоры, вызывающие похожие реакции. Стресс приводит к гормональным изменениям. Технологический стресс возникает на фоне факторов технологии производства. Молодняк и высокопродуктивные особи подвержены стрессу при перегруппировках, отъеме, транспортировке, смене персонала, ветеринарных манипуляциях, недостатке активности [23]. Отъемный стресс характерен для телят, проявляется снижением роста, количества эритроцитов, изменением состава крови, выбросом инсулина, повышением кортизола, снижением тиреоидных гормонов, активности костного мозга.

При транспортном стрессе повышается возбудимость, происходит потеря веса, угнетение ростовых процессов, возникают заболевания ЖКТ и незаразной этиологии. Гипокинезический стресс приводит к остановке роста молодняка, снижению плодовитости. Шумовой стресс вызывает угнетенное состояние и снижение продуктивности. Вакцинальный стресс провоцирует снижение интенсивности ростовых процессов. В определенные периоды повышается восприимчивость к внешним воздействиям, адаптационные возможности ограничены. Исследования показывают изменение функционального состояния организма в условиях промышленного содержания: нарушение обмена веществ, патологии сердечно-сосудистой системы, эндокринные изменения, нарушение репродуктивных функций, оксидативный стресс. Высокая продуктивность сочетается с низкой

устойчивостью к изменениям технологии, что ведет к напряжению функций, патологиям и выбраковке. Адаптация направлена на нормализацию жизнедеятельности с сохранением продуктивности. Дезадаптация возникает при нарушении регуляторных механизмов, сопровождается снижением продуктивности. При устойчивой адаптации устанавливается иной уровень функционирования систем и органов, без напряжения.

Стресс может быть этиологическим фактором язвенных патологий ЖКТ, гипертонической болезни, атеросклероза, гинекологических заболеваний, мастита, интоксикаций, нарушений сердечной деятельности, иммунодефицита, злокачественных образований. Слабый стресс благоприятен для адаптации, сильный – требует больших затрат энергии [13]. При стрессе повышается секреция адреналина, выработка молочной кислоты. Тепловой стресс снижает массу тела, среднесуточный привес и скорость роста скота, особенно у молочных коров, что существенно сказывается на их удоях и иммунитете. В ряде исследований глюкоза, общий холестерин, холестерин ЛПНП, белок, альбумин, BUN, CK, Ca, Na, K, Cl и Mg снижались в результате теплового стресса, как у коров голштинской, так и джерсейской породы, значительно или в определенной степени [28]. Снижение содержания этих минералов, вызванное тепловым стрессом, делает молочных коров уязвимыми к различным заболеваниям, включая метаболические и инфекционные нарушения.

Применение транквилизаторов, адаптогенов, микроэлементов помогает сохранить устойчивость. Стойкая адаптация обеспечивается мобилизацией энергетических и структурных компонентов, включением стрессорных гормонов. Стресс позитивно влияет на организм, но чрезмерное воздействие ведет к гибели. Технологические стресс-факторы в переходные периоды созревания оказывают отрицательное воздействие. В эти периоды закладывается генетическая программа развития органов и систем.

Стратегии иммунокоррекции. В последнее время наблюдается повышенный интерес к разработке и исследованию специализированных средств, способных модулировать иммунные реакции организма, то есть стимулировать или подавлять их. Эти биогенные вещества обладают потенциалом для повышения общей сопротивляемости организма, усиления неспецифической резистентности и воздействия на специфические иммунные реакции. Иммунная система представляет собой сложную, многоуровневую систему, предназначенную для защиты внутренней среды организма. Ее ключевая функция заключается в поддержании стабильности внутренней среды, предотвращая появление чужеродных агентов или изменений собственных клеток.

Для эффективной активации иммунной системы и, как следствие, повышения резистентности организма, необходимо использовать иммуностимуляторы, которые целенаправленно воздействуют на то эффекторное звено иммунитета, которое непосредственно вовлечено в патогенез конкретного заболевания. Препараты микробного происхождения (липополисахариды, по-

лисахариды, пептидогликаны, нуклеиновые кислоты) в основном стимулируют фагоциты и Т-эффекторы. Препараты животного происхождения (тимуса, костного мозга, селезенки, цитокины) оказывают различное воздействие на все звенья иммунитета, при этом препараты тимуса наиболее активно стимулируют Т-хелперы и Т-эффекторы, а препараты селезенки – В-клетки. Препараты гидролиза органических веществ стимулируют в основном фагоциты и В-клетки. Синтетические и химически чистые препараты (производные имидазола, полиэлектrolиты, соли селена, цинка и кремния) оказывают избирательное воздействие на различные звенья иммунитета, при этом соли цинка и селена преимущественно стимулируют В-клетки, а соли кремния – фагоциты [6].

Для стимуляции гуморального иммунитета (при лептоспирозе, роже и чуме свиней, стрептококкозах, чуме плотоядных, вирусных болезнях, блокировании выработки антител, а также для повышения иммунитета после вакцинации) используют АСД, ПВ-1, мумие, сульфадекстран, гидролизат молозива, мастим, полиоксидоний, препараты костного мозга и селезенки, интерфероны [9].

Клеточное звено иммунитета (макрофаги и Т-лимфоциты) стимулируют при кишечных и респираторных болезнях молодняка, вызванных условно-патогенной микрофлорой и вирусных болезнях, а также при токсикозах, паразитарных болезнях, гельминтозах и онкологических заболеваниях [7]. Для этого применяют пептидогликаны, нуклеинат натрия, препараты тимуса, левамизол, зимозан, достим, полистим, полиэлектrolиты [18].

Иммуностимуляторы наиболее эффективны при иммунодефицитах (врожденных или приобретенных из-за нарушений питания, стрессов, радиации, действия тяжелых металлов и пестицидов, инфекционных болезней), особенно у истощенных и ослабленных животных, подверженных болезням, вызываемым условно-патогенной микрофлорой.

При правильном применении иммуностимулирующая профилактика и терапия безопасны и эффективны. Иммуностимуляторы применяют: в ранние периоды инфекционных заболеваний; молодняку в первые сутки после рождения и в иммунодефицитные периоды; беременным животным в начальный и последний периоды беременности; при незаразных болезнях воспалительной этиологии; как антистрессовое средство; для повышения иммунитета при вакцинации; для повышения клеточных факторов.

Иммуномодуляторы – вещества, влияющие на иммунную систему, классифицируются по происхождению:

- микробные (лизаты бактерий и части клеточных стенок);
- тканевые (пептиды тимуса, плаценты);
- тимические (экстракты тимуса КРС);
- костномозговые препараты (комплексы пептидов);
- цитокины (интерлейкины и интерфероны);
- нуклеиновые кислоты (смесь нуклеиновых кислот дрожжей);
- растительные препараты;

- химически чистые [16].

Важно, что для активации защитных механизмов не обязательно вводить целые микробные клетки, достаточно полисахаридных комплексов, входящих в состав клеточных стенок микроорганизмов, обладающих имунотропной активностью.

Особый интерес представляют полисахариды из *Saccharomyces cerevisiae*, состоящие в основном из β -глюканов и маннанов, которые извлекаются из клеточных стенок дрожжей и демонстрируют разнообразные полезные свойства: антиоксидантные, противовоспалительные, противовирусные, иммуностимулирующие и адсорбционные. В основном используются в качестве кормовой добавки в аквакультуре и животноводстве, и в настоящее время активно ведутся исследования по выделению, очистке, фракционированию по молекулярному весу, а также изучению производных [20].

Так, учеными Чувашского ГАУ на протяжении нескольких десятилетий ведется разработка комплексных биоиммуностимуляторов на основе полисахаридного комплекса дрожжевых клеток. Большим количеством исследований в условиях производства доказано, что применение биопрепаратов серий PV, PS, Prevention, PigStim и Salus глубококостельным и новотельным коровам улучшает течение родов, повышает молочную продуктивность и качество молозива, обеспечивая колостральный иммунитет телят, улучшает приросты. Включение биопрепаратов в профилактические схемы снижает риски заболеваний репродуктивных органов за счет активизации гемопоэза, белкового обмена, неспецифической резистентности, вызывая физиологические изменения крови [14].

Для стимуляции продуктивности также применяются препараты с адаптогенным действием. Адаптогены формируют сопротивляемость к внешним факторам [12].

Исследование растительных адаптогенов – перспективное направление в ветеринарии. Растения, такие как *Withania somnifera* (ашваганда), *Ocimum sanctum* (базилик священный), *Tinospora cordifolia* (гудучи), *Asparagus racemosus* (шатавари) и *Embllica officinalis* (амла), обладают иммуномодулирующими и антистрессорными свойствами. Они повышают физиологическую устойчивость животных, особенно в условиях стресса. Эти иммуномодуляторы считаются безопасными, что подтверждается токсикологическими исследованиями [30].

Селен важен для иммунитета животных как компонент глутатионпероксидазы – мощного антиоксиданта. Он защищает иммунные клетки от повреждений, вызванных свободными радикалами, и необходим для их оптимальной работы. Селен усиливает клеточный и гуморальный иммунитет, повышает продукцию антител и регулирует воспаление. Среди адаптогенов для животных с действующим веществом селен можно выделить: селенолин, Сел-Плекс, селенопиран, Антимииопатик, Нутрил-селен, Селемаг, Е-селен. Использование препаратов способствует повышению функциональной активности антиоксидантной защиты [29]. Использование Антимииопатика увеличивало активность антиоксидантной защиты,

улучшало гемопоэз, состояние клеточных мембран, формировался колостральный иммунитет, уменьшалась частота респираторных заболеваний [27]. Адап-

тогены оказывают положительное влияние на иммунологические свойства, продуктивность и воспроизводство.

Таблица 1. Разница между иммуностимуляторами и адаптогенами
Table 1. The difference between immunostimulants and adaptogens

Характеристика	Иммуностимуляторы	Адаптогены
Механизм действия	Непосредственно стимулируют иммунную систему, усиливая активность определенных иммунных клеток (например, Т-лимфоцитов, В-лимфоцитов, макрофагов) или выработку иммунных молекул (например, антител, цитокинов).	Повышают общую неспецифическую устойчивость организма к различным стрессовым факторам (физическим, химическим, биологическим). Они помогают организму адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды и поддерживать гомеостаз.
Цель применения	Усиление иммунного ответа для борьбы с инфекциями, опухолями или другими иммунодефицитными состояниями. Используются для коррекции нарушений в работе иммунной системы.	Повышение устойчивости к стрессу, улучшение адаптации к неблагоприятным условиям, повышение работоспособности, профилактика заболеваний.
Риски	Длительное и неконтролируемое применение иммуностимуляторов может привести к гиперактивации иммунной системы, аутоиммунным реакциям и другим нежелательным последствиям.	Адаптогены обычно считаются более безопасными для длительного применения, чем иммуностимуляторы, но также требуют разумного подхода.
Примеры	Препараты тимуса, интерфероны, некоторые препараты микробного происхождения и др.	Экстракты элеутерококка, женьшеня, родиолы розовой, лимонника китайского, янтарная кислота, препараты селена и т. д.

Заключение.

Неинфекционные иммунодефициты у крупного рогатого скота, вызванные генетическими, алиментарными и метаболическими факторами, представляют серьезную угрозу для здоровья животных, снижая их иммунитет и продуктивность. Дисбаланс питания, дефицит витаминов и микроэлементов, наличие микотоксикозов, а также метаболические нарушения, такие как кетоз и ацидоз, усугубляют ситуацию, приводя к ослаблению иммунной системы и повышению восприимчивости к заболеваниям.

Таким образом, разработка инъекционных препаратов для сельскохозяйственных животных, сочетающих иммуностимулирующие свойства полисахаридных комплексов дрожжевых клеток с адаптогенным эффектом селена, представляет собой многообещающий подход к оптимизации иммунного статуса и повышению резистентности организма. По-

лисахариды, активируя неспецифические и специфические звенья иммунитета, стимулируют пролиферацию иммунокомпетентных клеток и выработку цитокинов. Селен, в свою очередь, выступит в качестве адаптогена, повышая устойчивость к стрессовым факторам, оптимизируя антиоксидантную защиту и модулируя воспалительные реакции. Синергичное действие этих компонентов позволит комплексно поддерживать иммунную систему животных, повышая их способность противостоять инфекциям и адаптироваться к неблагоприятным условиям окружающей среды, что потенциально приведет к улучшению здоровья, продуктивности и экономической эффективности животноводства. На наш взгляд, дальнейшие исследования необходимо направить на изучение оптимальных концентраций и соотношений компонентов, а также оценку клинической эффективности и безопасности препаратов.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 25-16-20093) Конкурс 2025 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» (региональный конкурс).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барашкин, М. И. Влияние различных факторов на иммунную систему крупного рогатого скота при промышленных технологиях содержания / М. И. Барашкин // АБУ. – 2015. – № 2(132).
2. Влияние органического селена в рационах на рост и иммунный статус молодняка крупного рогатого скота / А. Г. Кошаев, В. П. Витковская, Н. П. Шевченко [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 106. – С. 378-385. – DOI 10.21515/1999-1703-106-378-385.
3. Воронцов, Г. П. Влияние микроэлементного статуса на воспроизводительную функцию у крупного рогатого скота / Г. П. Воронцов, В. Н. Антонов // StudNet. – 2022. – № 2.
4. Епифанцева, Н. В. Уровень регуляторных молекул воспаления и роль полиморфизма гена ИЛ-2 Т330G в экспрессии пептидов при сальмонеллёзной инфекции / Н. В. Епифанцева // Современные проблемы науки и образования. – 2023. – № 6. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=33225> (дата обращения : 03.04.2025). – DOI: <https://doi.org/10.17513/spno.33225>
5. Завьялов, О. А. Роль меди, цинка и марганца в организме крупного рогатого скота / О. А. Завьялов, И. И. Слепцов, С. А. Мирошников // Ветеринария и кормление. – 2023. – № 6. – С. 22-26. – DOI 10.30917/АТТ-ВК-1814-9588-2023-6-5.
6. Кириллов, Н. К. Здоровье и продуктивность животных / Ф. П. Петрянкин, В. Г. Семенов. – Чебоксары, 2006. – 250 с.
7. Крамарь, Л. В. Современные возможности иммуномодулирующей и иммунокорректирующей терапии при инфекционных заболеваниях у детей / Л. В. Крамарь, О. А. Карпухина, Ю. О. Хлынина // Лекарственный вестник. – 2011. – Т. 6, № 3(43). – С. 15-23.
8. Кулаченко, И. В. Анализ содержания железа в сыворотке крови высокопродуктивных молочных коров в первый период лактации / И. В. Кулаченко, Я. П. Масалыкина // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. – 2024. – № 3(33). – С. 27-30.
9. Кухлевская, Ю. Организм под защитой: биостимуляторы в ветеринарии / Ю. Кухлевская // Эффективное животноводство. – 2024. – № 4(194). – С. 78-80.
10. Лютых, О. Скрытая угроза: микотоксикозы КРС / О. Лютых // Эффективное животноводство. – 2021. – № 2(168). – С. 68-75.
11. Мохов, Б. П. Адаптация крупного рогатого скота / Б. П. Мохов, Е. П. Шабалина : монография. – Ульяновск : УГСХА им. П. А. Столыпина, 2013. – 223 с.
12. Протасов, Б. И. Стратегия применения адаптогенов для стимуляции продуктивности у сельскохозяйственных животных / Б. И. Протасов, И. И. Комиссаров // Сельскохозяйственная биология. – 2012. – № 6. – С. 12-21.
13. Самбурова, М. А. Накопление мышьяка и тяжелых металлов живыми организмами на территории техногенного образования в Челябинской области / М. А. Самбурова, В. А. Сафонов // Фундаментальные основы биогеохимических технологий и перспективы их применения в охране природы, сельском хозяйстве и медицине : труды XII Международной биогеохимической школы, посвященной 175-летию со дня рождения В. В. Докучаева. – Тула, 2021. – С. 394-401.
14. Семенов, В. Г. Иммунокоррекция организма коров биопрепаратами на основе полисахаридного комплекса дрожжевых клеток / В. Г. Семенов, А. В. Лузова, Е. П. Симурзина // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса : материалы XV Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: ООО «ДГТУ-ПРИНТ», 2022. – С. 303-307. – DOI 10.23947/interagro.2022.303-307.
15. Топурия, Г. М. Влияние экологически неблагоприятных факторов на иммунитет животных / Г. М. Топурия, Л. Ю. Топурия, М. Б. Ребезов, К. А. Инякина // Проблемы и пути развития ветеринарии высокотехнологичного животноводства : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию ГНУ ВНИВППиТ Россельхозакадемии. – Воронеж : Издательство Истоки, 2015. – С. 431-434.
16. Хаитов, Р. М. Современные иммуномодуляторы. Классификация. Механизм действия / Р. М. Хаитов, Б. В. Пинегин. – Москва : Фармарус принт, 2005. – 27 с.
17. Юкомзан, Е. В. Адаптационные механизмы при различных видах стресса у животных / Е. В. Юкомзан // E-Scio. – 2022. – № 1(64). – С. 309-324.
18. Юсупов, Р. Х. Иммунодефициты животных и их профилактика [Левамизол, диуцифон, тималин (тимарин), натрия нуклеинат, продигиозан, интерферон и иммуноглобулины] / Р. Х. Юсупов // Ветеринария. Реферативный журнал. – 2009. – № 1. – С. 133.
19. Яковлев, А. Ф. Молекулярные маркеры в системе проявлений иммунного ответа / А. Ф. Яковлев // С.-х. биол., Сельхозбиология, S-h biol, Sel-hoz biol, Sel'skokhozyaistvennaya biologiya, Agricultural Biology. – 2018. – № 2.
20. Bastos, R. Brewer's yeast polysaccharides - A review of their exquisite structural features and biomedical applications / R. Bastos, Oliveira PG, Gaspar VM, Mano JF, Coimbra MA, Coelho E // Carbohydr Polym. – 2022. – 277:118826. – doi:10.1016/j.carbpol.2021.118826
21. Bishop, S. C. Genomics and disease resistance studies in livestock / S. C. Bishop, J. A. Woolliams // Livest. Sci. – 2014. – 146: 190-198 – doi: 10.1016/j.livsci.2014.04.034.

22. Drackley, J. K. Cows with feed restriction-induced hyperketonemia early postpartum have a different immunometabolic profile than healthy cows or cows with inflammatory disorders / J. K. Drackley, H. M. Dann, G. Bertoni, E. Trevisi // J Dairy Sci. – 2025. – 108(7):7790-7799. – doi:10.3168/jds.2025-26397
23. Ventsova, I. The role of oxidative stress during pregnancy on obstetric pathology development in high-yielding dairy cows / I. Ventsova, V. Safonov // American Journal of Animal and Veterinary Sciences. – 2021. – Vol. 16. – № 1. – P. 7-14.
24. Hartman, S. J. Comparison of trace mineral repletion strategies in feedlot steers to overcome diets containing high concentrations of sulfur and molybdenum / S. J. Hartman, O. N. Genther-Schroeder, S. L. Hansen // J Anim Sci. – 2018. – 96(6):2504-2515. – doi:10.1093/jas/sky088
25. Klein, G. S. Organic Zinc and Selenium Supplementation of Late Lactation Dairy Cows: Effects on Milk and Serum Minerals Bioavailability, Animal Health and Milk Quality / G. S. Klein, K. W. Leal, C. A. Rodrigues, et al. // Animals (Basel). – 2025. – 15(4):499. – Published 2025 Feb 10. – doi:10.3390/ani15040499
26. Lobo, R. R. Production, physiological response, and calcium and magnesium balance of lactating Holstein cows fed different sources of supplemental magnesium with or without ruminal buffer / R. R. Lobo, J. A. Arce-Cordero, S. So, et al. // J Dairy Sci. – 2023. – 106(2):990-1001. – doi:10.3168/jds.2022-22583
27. Marques, R. S. Effects of organic or inorganic cobalt, copper, manganese, and zinc supplementation to late-gestating beef cows on productive and physiological responses of the offspring / R. S. Marques, R. F. Cooke, M. C. Rodrigues, B.I. Cappellozza, R. R. Mills, C. K. Larson, P. Moriel, D. W. Bohnert // Journal of Animal Science. – 2016. – Vol. 94. – № 3. – P. 1215-1226.
28. Min, L. Nutritional strategies for alleviating the detrimental effects of heat stress in dairy cows: A review / L. Min, D. Li, X. Tong, X. Nan, D. Ding, B. Xu, G. Wang // Int. J. Biometeorol. – 2019. – 63:1283–1302. – doi: 10.1007/s00484-019-01744-8. - DOI - PubMed
29. Pepper, M. R. B12 in fetal development / M. R. Pepper, M. M. Black // Semin Cell Dev Biol. – 2012. – Vol. 22. – № 6. – P. 619-623.
30. Srivastava, P. Plant based immunomodulators for managing stress in animals- a review / Preeti Srivastava, Farah Naz Faridi, Mudit Sharma // Int J Health Sci Res. – 2022. – 12(11):179-183. – DOI: <https://doi.org/10.52403/ijhsr.20221122>

REFERENCES

1. Barashkin, M. I. Vliyanie razlichnyh faktorov na immunnuyu sistemu krupnogo rogatogo skota pri promyshlennyh tekhnologiyah soderzhaniya / M. I. Barashkin // AVU. – 2015. – № 2(132).
2. Voroncov, G. P. Vliyanie mikroelementnogo statusa na vosproizvoditel'nyuyu funkciyu u krupnogo rogatogo skota / G. P. Voroncov, V. N. Antonov // StudNet. – 2022. – № 2.
3. Epifanceva, N. V. Uroven' regul'yatornyh molekul vospaleniya i rol' polimorfizma gena IL-2 T330G v ekspressii peptidov pri sal'monellyoznoj infekcii / N. V. Epifanceva // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. – 2023. – № 6. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=33225> (data obrashcheniya: 03.04.2025). – DOI: <https://doi.org/10.17513/spno.33225>
4. Zav'yalov, O. A. Rol' medi, cinka i marganca v organizme krupnogo rogatogo skota / O. A. Zav'yalov, I. I. Slepcev, S. A. Miroshnikov // Veterinariya i kormlenie. – 2023. – № 6. – S. 22-26. – DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-6-5. – EDN TVZLIU.
5. Kirillov, N. K. Zdorov'e i produktivnost' zhivotnyh / F. P. Petryankin, V. G. Semenov. – CHEboksary, 2006. – 250 s.
6. Koshchaev, A. G. Vliyanie organicheskogo selena v racionah na rost i immunnyj status molodnyaka krupnogo rogatogo skota / A. G. Koshchaev, V. P. Vitkovskaya, N. P. Shevchenko [i dr.] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – № 106. – S. 378-385. – DOI 10.21515/1999-1703-106-378-385. – EDN QDYWBQ.
7. Kramar', L. V. Sovremennyye vozmozhnosti immunomoduliruyushchej i immunokorrigiruyushchej terapii pri infekcionnyh zabolevaniyah u detej / L. V. Kramar', O. A. Karpuhina, YU. O. Hlynina // Lekarsvennyj vestnik. – 2011. – T. 6, № 3(43). – S. 15-23. – EDN TBDBNR.
8. Kulachenko, I. V. Analiz soderzhaniya zheleza v syvorotke krovi vysokoproduktivnyh molochnyh korov v pervyj period laktacii / I. V. Kulachenko, YA. P. Masalykina // Aktual'nye voprosy sel'skohozyajstvennoj biologii. – 2024. – № 3(33). – S. 27-30. – EDN JAUVQJ.
9. Kuhlevskaya, YU. Organizm pod zashchitoj: biostimulyatory v veterinarii / YU. Kuhlevskaya // Effektivnoe zhivotnovodstvo. – 2024. – № 4(194). – S. 78-80. – EDN NEKGQC.
10. Lyutyh, O. Skrytaya ugroza: mikotoksikozy KRS / O. Lyutyh // Effektivnoe zhivotnovodstvo. – 2021. – № 2(168). – S. 68-75. – EDN SVZERG.
11. Mohov, B. P. Adaptaciya krupnogo rogatogo skota / B. P. Mohov, E. P. SHabalina. – Monografiya. – Ul'yanovsk: UGSKHA im. P.A. Stolypina, 2013. – 223 s.
12. Protasov, B. I. Strategiya primeneniya adaptogenov dlya stimulyacii produktivnosti u sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh / B. I. Protasov, I. I. Komissarov // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. – 2012. – № 6. – S. 12-21.
13. Samburova, M. A. Nakoplenie mysh'yaka i tyazhelyh metallov zhivymi organizmami na territorii tekhnogennogo obrazovaniya v CHelyabinskoy oblasti / M. A. Samburova, V. A. Safonov // Fundamental'nye osnovy

- biogeoхимических технологий и перспективы их применения в охране природы, сельском хозяйстве и медицине. Труды XII Междунар. биогеохимической школы, посвященной 175-летию со дня рождения В. В. Докучаева. – Тula, 2021. – С. 394-401.
14. Semenov, V. G. Immunokorrekcija organizma korov biopreparatami na osnove polisaharidnogo kompleksa drozhzhevnyh kletok / V. G. Semenov, A. V. Luzova, E. P. Simurzina // Sostoyanie i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: Mat. XV Mezhdunar. nauch.-prakt.konf. – Rostov-na-Donu: OOO «DGTU-PRINT», 2022. – С. 303-307. – DOI 10.23947/interagro.2022.303-307. – EDN QJZWXB.
 15. Topuriya, G. M. Vliyanie ekologicheski neblagopriyatnyh faktorov na immunitet zhivotnyh / G. M. Topuriya, L. YU. Topuriya, M. B. Rebezov, K. A. Inyakina // Problemy i puti razvitiya veterinarii vysokotekhnologichnogo zhivotnovodstva: Mat. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoj 45-letiyu GNU VNIVIPFiT Rossel'hoz akademii. – Voronezh: Izdatel'stvo Istoki, 2015. – С. 431-434. – EDN UPEPRN.
 16. Haitov, R. M. Sovremennye immunomodulyatory. Klassifikaciya. Mekhanizm dejstviya / R. M. Haitov, B. V. Pinegin. – M.: Farmarus print, 2005. – 27 s.
 17. YUkomzan, E. V. Adaptacionnye mekhanizmy pri razlichnyh vidah stressa u zhivotnyh / E. V. YUkomzan // E-Scio. – 2022. – № 1(64). – С. 309-324. – EDN MVEYEB.
 18. YUsupov, R. H. Immunodeficiency zhivotnyh i ih profilaktika [Levamisol, diucifon, timalin (timarin), natriya nukleinat, prodigiozan, interferon i immunoglobuliny] / R. H. YUsupov // Veterinariya. Referativnyj zhurnal. – 2009. – № 1. – С. 133. – EDN JXBNCV.
 19. YAkovlev, A. F. Molekulyarnye markery v sisteme proyavlenij immunnogo otveta / A. F. YAkovlev // S.-h. biol., Sel'hozbiologiya, S-h biol, Sel'-hoz biol, Sel'skokhozyaistvennaya biologiya, Agricultural Biology. – 2018. – № 2.
 20. Bastos, R. Brewer's yeast polysaccharides - A review of their exquisite structural features and biomedical applications / R. Bastos, Oliveira PG, Gaspar VM, Mano JF, Coimbra MA, Coelho E // Carbohydr Polym. – 2022. – 277:118826. – doi:10.1016/j.carbpol.2021.118826
 21. Bishop, S. C. Genomics and disease resistance studies in livestock / S. C. Bishop, J. A. Woolliams // Livest. Sci. – 2014. – 146: 190-198 – doi: 10.1016/j.livsci.2014.04.034.
 22. Drackley, J. K. Cows with feed restriction-induced hyperketonemia early postpartum have a different immunometabolic profile than healthy cows or cows with inflammatory disorders / J. K. Drackley, H. M. Dann, G. Bertoni, E. Trevisi // J Dairy Sci. – 2025. – 108(7):7790-7799. – doi:10.3168/jds.2025-26397
 23. Ventsova, I. The role of oxidative stress during pregnancy on obstetric pathology development in high-yielding dairy cows / I. Ventsova, V. Safonov // American Journal of Animal and Veterinary Sciences. – 2021. – Vol. 16. – № 1. – P. 7-14.
 24. Hartman, S. J. Comparison of trace mineral repletion strategies in feedlot steers to overcome diets containing high concentrations of sulfur and molybdenum / S. J. Hartman, O. N. Genther-Schroeder, S. L. Hansen // J Anim Sci. – 2018. – 96(6):2504-2515. – doi:10.1093/jas/sky088
 25. Klein, G. S. Organic Zinc and Selenium Supplementation of Late Lactation Dairy Cows: Effects on Milk and Serum Minerals Bioavailability, Animal Health and Milk Quality / G. S. Klein, K. W. Leal, C. A. Rodrigues, et al. // Animals (Basel). – 2025. – 15(4):499. – Published 2025 Feb 10. – doi:10.3390/ani15040499
 26. Lobo, R. R. Production, physiological response, and calcium and magnesium balance of lactating Holstein cows fed different sources of supplemental magnesium with or without ruminal buffer / R. R. Lobo, J. A. Arce-Cordero, S. So, et al. // J Dairy Sci. – 2023. – 106(2):990-1001. – doi:10.3168/jds.2022-22583
 27. Marques, R. S. Effects of organic or inorganic cobalt, copper, manganese, and zinc supplementation to late-gestating beef cows on productive and physiological responses of the offspring / R. S. Marques, R. F. Cooke, M. C. Rodrigues, B.I. Cappelozza, R. R. Mills, C. K. Larson, P. Moriel, D. W. Bohnert // Journal of Animal Science. – 2016. – Vol. 94. – № 3. – P. 1215-1226.
 28. Min, L. Nutritional strategies for alleviating the detrimental effects of heat stress in dairy cows: A review / L. Min, D. Li, X. Tong, X. Nan, D. Ding, B. Xu, G. Wang // Int. J. Biometeorol. – 2019. – 63:1283–1302. – doi: 10.1007/s00484-019-01744-8. - DOI - PubMed
 29. Pepper, M. R. B12 in fetal development / M. R. Pepper, M. M. Black // Semin Cell Dev Biol. – 2012. – Vol. 22. – № 6. – P. 619-623.
 30. Srivastava, P. Plant based immunomodulators for managing stress in animals- a review / Preeti Srivastava, Farah Naz Faridi, Mudit Sharma // Int J Health Sci Res. – 2022. – 12(11):179-183. – DOI: <https://doi.org/10.52403/ijhsr.20221122>

Информация об авторах

1. **Семенов Владимир Григорьевич**, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29, Чувашская Республика, Россия; <http://orcid.org/0000-0002-0349-5825>, e-mail: semenov_v.g@list.ru.

2. **Никитин Дмитрий Анатольевич**, доктор ветеринарных наук, доцент, профессор кафедры морфологии, акушерства и терапии, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул.

К. Маркса, д. 29, Чувашская Республика, Россия; <https://orcid.org/0000-0003-4765-8742>, e-mail: nikitin_d_a@mail.ru.

3. **Боронин Валерий Викторович**, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры морфологии, акушерства и терапии, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29, Чувашская Республика, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-7500-8299>, e-mail: boronin.v@mail.ru.

4. **Симурзина Елена Павловна**, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры морфологии, акушерства и терапии, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29, Чувашская Республика, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-3539-7808>, e-mail: simurzina.el@yandex.ru.

5. **Лузова Анна Вячеславовна**, кандидат ветеринарных наук, старший преподаватель кафедры морфологии, акушерства и терапии, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 29, Чувашская Республика, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-8584-7205>, e-mail: luzova_anna@mail.ru.

Information about authors

1. **Semenov Vladimir Grigoryevich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Department of Morphology, Obstetrics And Therapy, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx st., 29, Chuvash Republic, Russia; <http://orcid.org/0000-0002-0349-5825>, e-mail: semenov_v.g@list.ru.

2. **Nikitin Dmitry Anatolyevich**, Doctor of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Morphology, Obstetrics And Therapy, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx st., 29, Chuvash Republic, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-4765-8742>, e-mail: nikitin_d_a@mail.ru.

3. **Boronin Valery Viktorovich**, Candidate of Veterinary Sciences, associate professor of the Department of Morphology, Obstetrics And Therapy, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx st., 29, Chuvash Republic, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-7500-8299>, e-mail: boronin.v@mail.ru.

4. **Simurzina Elena Pavlovna**, Candidate of veterinary sciences, associate professor of the Department of Morphology, Obstetrics And Therapy, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx st., 29, Chuvash Republic, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-3539-7808>, e-mail: simurzina.el@yandex.ru.

5. **Luzova Anna Vyacheslavovna**, Candidate of veterinary sciences, senior lecturer of the Department of Morphology, Obstetrics And Therapy, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, K. Marx st., 29, Chuvash Republic, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-8584-7205>, e-mail: luzova_anna@mail.ru.

Вклад авторов

Семенов В. Г. – научное руководство и координация работы, финальное редактирование и утверждение.

Никитин Д. А. – определение цели и задач обзора, разработка общей концепции и структуры статьи.

Боронин В. В. – поиск и анализ отечественной литературы, написание соответствующего раздела.

Симурзина Е. П. – поиск и анализ зарубежной литературы, написание соответствующего раздела, разработка иллюстративного материала для раздела.

Лузова А. В. – написание выводов и перспектив, оформление списка литературы, проверка цитирования, подготовка к публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Semenov V. G. – scientific supervision and coordination of the work, final editing and approval.

Nikitin D. A. – defining the aim and objectives of the review, developing the overall concept and structure of the article.

Boronin V. V. – searching and analyzing domestic literature, writing the corresponding section.

Simurzina E. P. – searching and analyzing foreign literature, writing the corresponding section, developing illustrative material for the section.

Luzova A. V. – writing the conclusions and perspectives, compiling the list of references, checking citations, preparing for publication.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 08.09.2025. Одобрена после рецензирования 19.09.2025. Дата опубликования 29.09.2025.

The article was received by the editorial office on 08.09.2025. Approved after review on 19.09.2025. Date of publication: 29.09.2025.