



РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ВЕТЕРИНАРИИ ИНФЕКЦИОННЫЕ БОЛЕЗНИ

УДК 618.19-002-02-07085:579.842.11:636.2

DOI: 10.52419/issn2782-6252.2026.2.46

ИНФЕКЦИОННЫЙ МАСТИТ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА, ВЫЗВАННЫЙ МИКРООРГАНИЗМАМИ *ESCHERICHIA COLI*: ЭТИОЛОГИЯ, ДИАГНОСТИКА И ПРОБЛЕМЫ ЛЕЧЕНИЯ

Светлана Анатольевна Макавчик^{1✉}, Рауна. Н. Хайтембу²

^{1,2} Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Российская Федерация

¹ д-р ветеринар. наук, доц., доцент кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии, email:

groza81@mail.ru, orcid.org/0000-0001-5435-8321

² аспирант кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии

РЕФЕРАТ

Мастит у молочного скота представляет собой одну из наиболее экономически значимых проблем, стоящих перед мировым молочным сектором, приводя к существенным финансовым потерям, обусловленным снижением продуктивности, повышением затрат на содержание и преждевременной выбраковкой пораженных животных из стада. Будучи интрамаммарной инфекцией, мастит не только наносит урон благополучию животных, но и создает значительные риски для общественного здравоохранения, ухудшая качество молока и стандарты безопасности пищевой продукции. Среди экологических патогенов, ассоциированных с этим заболеванием, *Escherichia coli* выделяется в качестве основного этиологического агента острого клинического мастита. Штаммы, обозначаемые как патогенная для молочной железы *E. coli* (МРЕС), демонстрируют усиленные признаки вирулентности, которые обеспечивают их выживание и пролиферацию в тканях молочной железы, несмотря на врожденные иммунные защитные механизмы организма-хозяина. Однако точная корреляция между отдельными факторами вирулентности и клинической тяжестью мастита остается до конца не выясненной. Кроме того, широкое и зачастую нерегулируемое применение антимикробных препаратов в борьбе с маститом привело к появлению штаммов МРЕС, устойчивых ко всем основным классам антибиотиков, что значительно затрудняет эффективные терапевтические вмешательства и создает риски как для здоровья животных, так и для человека. Возникновение полирезистентных штаммов представляет собой критическую проблему, ограничивая эффективные варианты лечения и повышая риск терапевтических неудач. Был проведен литературный поиск с использованием библиографической базы данных PubMed, издательской платформы Frontiers и научной электронной библиотеки eLibrary. Для данного исследования были отобраны статьи, содержащие теоретические, экспериментальные и клинические данные по этиологии, диагностике и проблемам лечения инфекционного мастита у крупного рогатого скота, вызванного бактериями *Escherichia coli*. Настоящий обзор рассматривает этиологию, патогенез, иммунный ответ хозяина, методы диагностики и проблемы терапии инфекционного мастита, вызванного *E. coli* у молочного скота. В нем также обобщаются современные данные о факторах вирулентности патотипа МРЕС и антимикробной резистентности, а также обсуждаются ключевые пробелы в знаниях, которые необходимо восполнить для реализации профилактических мер.

Ключевые слова: патогенная для молочной железы *Escherichia coli*, устойчивость к противомикробным препаратам, вирулентность, антибиотики, крупный рогатый скот, патогенез мастита, взаимодействие хозяина и патогена, молоко, иммунный ответ.

Для цитирования: Макавчик С.А., Хайтембу Р.Н. Инфекционный мастит крупного рогатого скота, вызванный микроорганизмами *Escherichia coli*: этиология, диагностика и проблемы лечения. Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. 2026;2:46-53. <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2026.2.46>

INFECTIOUS MASTITIS IN CATTLE CAUSED BY *ESCHERICHIA COLI* MICROORGANISMS: ETIOLOGY, DIAGNOSIS, AND TREATMENT PROBLEMS

Svetlana An. Makavchik¹, Rauna N. Khaitembu²

^{1,2} Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Russian Federation

¹ Doctor of Veterinary Sciences, Assoc. Prof., Associate Professor, Department of Microbiology, Virology, and Immunology, email: groza81@mail.ru, orcid.org/0000-0001-5435-8321

ABSTRACT

Mastitis in dairy cattle represents one of the most economically significant challenges facing the global dairy sector, leading to substantial financial losses stemming from decreased milk production, elevated maintenance costs, and the premature removal of affected animals from the herd. As an intra-mammary infection, mastitis not only compromises animal welfare but also poses considerable public health risks by impairing milk quality and food safety standards. Among the environmental pathogens implicated in this condition, *Escherichia coli* stands out as a primary causative agent of acute clinical mastitis. Specifically, strains designated as mammary pathogenic *E. coli* (MPEC) demonstrate enhanced virulence traits that enable survival and proliferation within mammary tissue, despite the host organism's innate immune defences. However, the precise correlation between individual virulence factors and the clinical severity of mastitis remains incompletely elucidated. Furthermore, the widespread and frequently unregulated administration of antimicrobials in mastitis management has resulted in the emergence of mammary pathogenic *E. coli* (MPEC) strains resistant to all major classes of antibiotics. Thereby significantly hindering effective therapeutic interventions and posing risks to both animal and human health. The emergence of multidrug-resistant strains poses a critical challenge, limiting effective treatment options and increasing the risk of treatment failures. This literature research conducted using the bibliographic database PubMed, the publisher's platform Frontiers, and the scientific electronic library eLibrary. For this study, we used articles containing theoretical, experimental, and clinical data on the etiology, diagnosis, and treatment challenges of infectious mastitis in cattle caused by *Escherichia coli* bacteria. This review examines the etiology, pathogenesis, host immune response, diagnostic methods, and treatment challenges of infectious mastitis caused by *E. coli* in dairy cattle. It also summarizes current data on MPEC pathotype virulence factors and antimicrobial resistance, and discusses key gaps in the knowledge that needs to be addressed in order to comply with preventive measures.

Key words: mammary pathogenic *Escherichia coli*, antimicrobial resistance, virulence, antibiotics, cattle, mastitis pathogenesis, host-pathogen interaction, milk, immune response

For citation: Makavchik S.A., Khaitembu R.N. Infectious mastitis in cattle caused by *Escherichia coli* microorganisms: etiology, diagnosis, and treatment problems. Legal regulation in veterinary medicine. 2026;2:46-53. (in Russ) <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2026.2.46>

ВВЕДЕНИЕ

Мастит крупного рогатого скота представляет собой воспалительное заболевание молочной железы, характеризующееся патологическими изменениями в железистой ткани и нарушениями физико-химических и микробиологических свойств молока. Данное заболевание остаётся одной из наиболее распространённых и экономически значимых проблем в молочном животноводстве во всем мире. Мастит может развиваться вследствие неинфекционных факторов, таких как травмы или физиологический стресс, однако наиболее часто встречается инфекционная форма заболевания [1].

Болезнь влечёт существенные финансовые потери: затраты на диагностику и ветеринарное обслуживание, снижение надоев и производительности труда, а также косвенные убытки из-за ухудшения репродуктивных показателей и преждевременной выбраковки животных. [7, 16, 17, 24, 25, 26].

Бесконтрольное применение антибиотиков для лечения мастита у крупного рогатого скота приводит к появлению антибиотикоустойчивых бактерий в молоке и молочных продуктах, что представляет серьёзную угрозу для общественного здоровья. Одной из ключевых причин острого клинического мастита во всём мире является бактерия *Escherichia coli* (*E. coli*). Этот микроорганизм, обычно выступающий в роли комменсала кишечника, обладает гибким геномом, что позволяет ему проявлять патогенные свойства. Заражение может происходить через фекальное загрязнение кожи сосков. Выделен особый патотип *E. coli*, патогенный для молочной железы (MPEC), который несёт ответственность за раз-

витие мастита. Отдельные штаммы *E. coli* дополнительно приобрели специфические факторы вирулентности (ФВ), способствующие их проникновению в молочную железу, выживанию в ней и превращению органа в благоприятную среду обитания [7, 16, 24].

Таким образом, учитывая актуальность мастита, вызываемого *E. coli*, в данной статье рассматриваются важные аспекты характеристики возбудителя *E. coli*, диагностики и лечения. В связи с высокой актуальностью мастита, ассоциированного с *Escherichia coli*, в настоящей статье проанализированы ключевые аспекты характеристики данного возбудителя, а также современные подходы к диагностике и терапии заболевания.

Целью исследования является проанализировать и систематизировать опубликованные данные по этиологии, диагностике и проблемам лечения крупного рогатого скота с инфекционными маститами, вызванными бактериями *Escherichia coli*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для выполнения исследования проведён обзор научной литературы с использованием: библиографической базы данных PubMed, издательской платформы Frontiers и научной электронной библиотеки eLibrary. В анализ включены публикации, содержащие теоретические, экспериментальные и клинические данные по этиологии, диагностике и терапии мастита у крупного рогатого скота, обусловленного *Escherichia coli*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно современным научным данным, мастит представляет собой серьёзную проблему в сфере молочного животноводства на междуна-

родном уровне, причём субклиническая форма заболевания преобладает над клинически выраженной [1].

Проблема новых патотипов *Escherichia coli*, обладающих патогенными свойствами

Внекишечные патогенные штаммы *Escherichia coli* (ExPEC) объединяют несколько подгрупп, в числе которых: уропатогенные *E. coli* (UPEC), *E. coli*, ассоциированные с менингитом (MNEC), и *E. coli*, ассоциированные с сепсисом (SEPEC). Эти подгруппы вызывают, соответственно, инфекции мочевыводящих путей, менингит, перитонит и сепсис. Данная классификация строится на выделении патотипов *E. coli* с учётом локализации инфекционного процесса, а также симптомов заболевания у людей и животных [2].

Новый патотип ExPEC, обозначенный как один из самых частых возбудителей маститов у крупного рогатого скота MPEC (mammary pathogenic *Escherichia coli*) [7, 16].

Некоторые исследования показали, что штаммы *E. coli*, выделенные от коров с маститом, обладают меньшим генотипическим разнообразием, чем штаммы из окружающей среды, и в большинстве случаев у них отсутствуют известные факторы вирулентности *E. coli*, что отражает пластичность генома [7, 16].

Несколько исследований показывают, что *E. coli*, выделенная от крупного рогатого скота, пораженного маститом, является естественным комменсалом желудочно-кишечного тракта крупного рогатого скота [3, 4, 5].

Факторы вирулентности *E. coli*, вовлечённые в развитие мастита у крупного рогатого скота, прежде всего обеспечивают колонизацию и выживание бактерии в гетерогенной среде желудочно-кишечного тракта. Вследствие этого штаммы *E. coli*, выделенные от животных с маститом, чаще всего носят оппортунистический характер: они способны вызывать инфекцию преимущественно у особей с ослабленным иммунитетом, в частности в перинатальный период, когда снижается рекрутирование лейкоцитов в молочную железу. Таким образом, тяжесть течения мастита в большей степени определяется внешними факторами и индивидуальной предрасположенностью животного (включая состояние врождённого иммунитета и стадию лактации), нежели собственно вирулентными свойствами возбудителя [7, 16].

Установлено, что удаление железа с помощью системы дицитрата железа тесно связано с бактериями *E. coli* как возбудителями инфекционных маститов и может влиять на тяжесть заболевания при инфекциях. Для преодоления низкого количества свободного железа в молоке *E. coli* экспрессирует различные системы транспорта железа, такие как высокоактивные сидерофоры (например, энтеробактин, аэробактин, феррихром) и внешняя мембрана, регулируемая железом.

Следует подчеркнуть, что указанные структурные компоненты представляют собой перспективную мишень для разработки новых терапевтических и профилактических препаратов [7, 8, 16].

В настоящее время отсутствует чёткое понимание влияния идентифицированных генов вирулентности на степень тяжести мастита у крупно-

го рогатого скота, провоцируемого *E. coli*. Обнаружение широкого спектра профилей генов вирулентности как в персистирующих, так и в транзитных изолятах указывает на значительную генотипическую гетерогенность *E. coli*, ассоциированной с маститом. Следует учитывать, что вариабельность клинических симптомов может быть обусловлена не только ещё не выявленными генами вирулентности, но и факторами хозяина, включая стадию лактации, возраст, пищевой и метаболический статус, количество и функциональную активность циркулирующих нейтрофилов, уровень соматических клеток в молоке и генетическую предрасположенность к устойчивости [16].

Однако, способность *E. coli* переноситься из молока в эпителиальные клетки молочной железы и выживать внутриклеточно. Адгезия эпителиальных клеток и инвазия являются важными факторами при хронической или персистирующей инфекции. Исследования *in vitro* показали, что персистирующие штаммы *E. coli*, ассоциированные с маститом, обладают большей способностью адгезировать, инвазировать и выживать в клетках молочной железы крупного рогатого скота, чем транзитные штаммы и имеют другой механизм внутриклеточного транспорта.

Исследования показали, что персистирующие изоляты *E. coli* чаще содержат гены *lrf*, кодирующие длинные полярные фимбрии, что связано с их способностью проникать в клетки эпителия молочной железы. В работе Керро Дего и соавторов, посвящённой экспрессии генов хозяина и патогена, установлено, что как острые, так и персистирующие штаммы *E. coli*, вызывающие мастит, усиливают экспрессию генов иммунного ответа (включая *IRF1*, *CD83*, *IL 1α*, *IL 6*, *IL 8*, *CCL20*, *CXCL2*, *MHC1*, *Casp3*, *CFB*). При этом стимуляция иммунного ответа была значительно сильнее при взаимодействии клеток с острыми штаммами по сравнению с персистирующими. Аналогичные результаты получены и в других исследованиях: острая форма мастита у крупного рогатого скота сопровождается более выраженной активацией иммунных реакций, воспаления, а также процессов обработки и презентации антигенов, чем хроническая форма [16].

Таким образом, персистирующий штамм *E. coli* индуцирует лишь умеренный иммунный ответ, которого недостаточно для элиминации возбудителя, что обеспечивает длительное выживание *E. coli* в тканях молочной железы.

Реакции иммунной системы организма на воздействие бактерий вида *Escherichia coli*.

Врождённый иммунитет крупного рогатого скота включает физические барьеры на кончике соска и ряд иммунных элементов (нейтрофилы, макрофаги, цитокины, NK-клетки, лактоферрин, комплемент), действующих на ранних стадиях инфекции *E. coli*. Эти компоненты формируют концентрацию соматических клеток (КСК), где нейтрофилы доминируют на начальном этапе воспаления, обеспечивая до 90 % прироста КСК. При проникновении патогенов в молочную железу нейтрофилы осуществляют первую линию клеточной защиты посредством фагоцитоза. Тяжесть мастита определя-

ется скоростью рекрутирования нейтрофилов в очаг инфекции и эффективностью их фагоцитарной активности против патогена [7,13].

У жвачных животных лактоферрин ингибирует рост *E. coli* за счёт связывания ионов железа. Цитокины (IL, CSF, IFN, TNF) обеспечивают врождённую защиту молочной железы, индуцируя местные (отёк, покраснение, боль) и системные (лихорадка, тахикардия и др.) признаки воспаления. При недостаточности врождённого иммунного ответа активируется приобретённый иммунитет, опосредованный лимфоцитами. Антитела, продуцируемые В-лимфоцитами, проникают в молоко через сосуды с повышенной проницаемостью. Цель воспалительной реакции при мастите является элиминация патогена, нейтрализация его токсинов и регенерация ткани вымени для восстановления молочной продуктивности. [2,8,10,16].

Начало мастита происходит, когда МРЕС проникает через сосковый канал, размножается в цистернах соска и молочной железы и распространяется по всей молочной железистой ткани. Попадая внутрь молочной железы, МРЕС ферментируют лактозу и используют ее в качестве источника энергии, чтобы размножаться, не прилипая к эпителиальной поверхности железы, оставаясь в цистернах, протоках и просвете альвеол. хронических внутримаммальных инфекций и рецидивирующему клиническому маститу. Размножение и последующий лизис МРЕС сопровождаются высвобождением липополисахарида (LPS) из внешней бактериальной мембраны. В дальнейшем LPS последовательно взаимодействует с рядом молекул: сначала с LPS-связывающим белком (LBP), затем в составе комплекса LPS-LBP — с кластером дифференцировки CD14. Этот механизм обеспечивает доставку LPS к толл-подобному рецептору 4 (TLR4) на поверхности макрофагов. Взаимодействие LPS с TLR4 инициирует внутриклеточный сигнальный путь, центральным звеном которого является активация ядерного фактора каппа-бета (NF-κB). Активированный NF-κB стимулирует макрофаги и эпителиальные клетки молочной железы к продукции провоспалительных медиаторов, включая цитокины (IL-1β, IL-1, IL-6, IL-8, TNF-α) и белки острой фазы воспаления (сывороточный амилоид А, гаптоглобин) [7,16].

Важно отметить, что TNF-α является основным медиатором эндотоксического шока, который возникает в случаях сверхострого мастита, вызванного колиформными бактериями [3,16].

Хемотактические факторы, особенно IL8, привлекают нейтрофилы из кровотока, которые функционируют как фагоциты в месте локализации инфекции в альвеолах. Эффективность фагоцитоза нейтрофилов напрямую влияет на развитие местного воспалительного процесса и тяжести течения мастита. Несмотря на то, что опсонизация не является обязательным условием для фагоцитоза, иммуноглобулины (в т.ч. IgG2 и IgM) распознают МРЕС посредством своих Fab-областей, а затем взаимодействуют с нейтрофилами через Fc-рецепторы, локализованные на плазматической мембране. Это взаимодействие способствует ускорению процесса фагоцитоза.

Воздействие на нейтрофилы жировых глобул и казеина приводит к потере цитоплазматических гранул (снижению бактерицидной активности) и изменению морфологии (округлению). Следовательно, для преодоления сниженных фагоцитарных возможностей и контроля инфекции необходимо большое количество нейтрофилов. Во время фагоцитоза нейтрофилы выделяют химические вещества, например, активные формы кислорода, которые уничтожают МРЕС, но также повреждают эпителиальные клетки молочной железы, что приводит к необратимому снижению выработки молока. Чтобы минимизировать повреждение тканей молочной железы, нейтрофилы подвергаются запрограммированной клеточной смерти (апоптозу) и выделяют хемокины, которые привлекают макрофаги к месту инфекции. На последнем этапе воспалительной реакции макрофаги быстро фагоцитируют апоптотические нейтрофилы (эффероцитоз), минимизируя высвобождение гранулярного содержимого, повреждающего ткань, тогда как в альвеолярной ткани молочной железы дендритные клетки, как правило, не реагируют на инфекцию МРЕС. Однако, когда эфферицитоз, осуществляемый макрофагами, неэффективен, происходит усиленное удаление апоптотических нейтрофилов дендритными клетками [7,16].

Таким образом, лечение молочной железы успешно только при минимальном повреждении ткани.

Диагностика мастита у коров

Клинический мастит легко выявляется по видимым отклонениям в вымени (например, покраснение, отек, повышение температуры и боль при физической пальпации) и молоке (например, наличие сгустков в прозрачных, сыровоточных или кровянистых выделениях). Однако, при субклиническом мастите для выявления заболевания необходимо использовать косвенные методы оценки воспаления. В отличие от клинического мастита, единственным видимым признаком животных с субклиническим маститом является снижение молочной продуктивности. Следовательно, для диагностики необходимы дополнительные тесты, основанные на определении количества соматических клеток в молоке (КСК). Тест на определение КСК используется в качестве индикатора здоровья молочной железы и качества молока. Обычно здоровые коровы дают молоко с содержанием соматических клеток менее 100 000/мл, в то время как у коров с клинической формой мастита минимальное содержание соматических клеток составляет 200 000/мл [7].

Микробиологическое культивирование проб молока как составных образцов от отдельных животных, так и образцов из отдельных четвертей вымени является важным инструментом выявления *E. coli* как возбудителя клинического мастита. Тем не менее в примерно 30% случаев бактерии не удаётся обнаружить стандартными методами из-за их низкой концентрации в пробе. В подобных ситуациях необходимо прибегать к повторному культивированию либо использовать специализированные методики [16, 19, 24].

Диагностика мастита, вызванного *Escherichia coli*: актуальные проблемы и стратегии совер-

шенствования методов.

Ранняя диагностика мастита у крупного рогатого скота важна из-за высоких затрат на лечение инфекций, вызванных *E. coli*, и необходимости поддерживать здоровье животных. Для своевременного выявления мастита часто используют определение количества соматических клеток (КСК), однако этот метод имеет недостатки, в частности, субъективность интерпретации результатов, что может приводить к ложноположительным и ложноотрицательным диагнозам [2, 24].

Генотипические методы дополняют фенотипическую идентификацию мастита у крупного рогатого скота, помогая решить проблему ложноотрицательных результатов. Так, около 30% клинических образцов мастита не дают роста в бактериальной культуре, но полимеразная цепная реакция (ПЦР) позволяет выявить патогены даже при подавленном росте, снижая число ложноотрицательных диагнозов [2, 24].

Другие методы молекулярного типирования, используемые для идентификации возбудителя мастита у крупного рогатого скота на видовом уровне и позволяет обнаружить распространенные виды возбудителей мастита [1,16,24].

Перспективным направлением в диагностике мастита, вызванного *E. coli*, является разработка новых биомаркеров с высокой чувствительностью и специфичностью — таких, которые можно быстро и эффективно применять непосредственно на месте у животных. Протеомные исследования выявили закономерности экспрессии белков: эти данные открывают возможности для поиска диагностических биомаркеров мастита у крупного рогатого скота, а также новых терапевтических мишеней — например, бактериальных иммуногенных белков для создания вакцин. При этом для рутинной диагностики ключевое значение имеют не только специфичность и чувствительность метода, но и его стоимость, скорость обработки и способность работать с большим количеством образцов молока. Протеомные методы позволяют точно определять биомаркеры — это важно для ранней диагностики мастита, оценки эффективности лечения и поиска новых мишеней для альтернативных методов терапии [16,24].

Однако, многие современные достижения все еще не подходят для рутинной диагностики мастита крупного рогатого скота.

Лечение инфекционного мастита колиформной этиологии у крупного рогатого скота

Контроль окружающей среды особенно сложен, потому что *E. coli* повсеместно распространена в среде крупного рогатого скота. Поддерживающая помощь и лечение стероидными или нестероидными противовоспалительными препаратами (например, дексаметазон) должны быть первым вариантом лечения. Парентеральное введение фторхинолонов (например, энрофлоксацин, данофлоксацин, марбофлоксацин) или цефалоспоринов третьего поколения (например, цефтиофур) рекомендуется для лечения коров с тяжелой клинической формой мастита колиформной этиологии [12,14,16,18,21,22,24].

Таким образом, наиболее важными фактора-

ми профилактики мастита такого типа являются гигиена окружающей среды с учетом технологических процессов и квалификации персонала способствует рациональной фармакотерапии в условиях молочного животноводства.

Устойчивость к антимикробным препаратам микроорганизмов *Escherichia coli*, вызывающих мастит

Для лечения мастита, вызванного *E. coli*, одобрено несколько противомикробных препаратов, таких как тетрациклины, макролиды, сульфаниламиды, хинолоны и β -лактамы. К сожалению, антибиотикотерапия часто демонстрирует незначительный или нулевой эффект при лечении клинического или субклинического мастита, вызванного колиформными бактериями у крупного рогатого скота. Этот факт подтверждается увеличением числа устойчивых к антимикробным препаратам изолятов и растущим числом рецидивирующих и персистирующих случаев мастита, часто вызываемых одним и тем же изолятом *E. coli*. Бактерии *E. coli*, выделенные из молока крупного рогатого скота, пораженного маститом, устойчивы ко многим классам антибиотиков, включая, помимо прочего, ампициллин (например, клоксациллин), полипептид (например, бацитрацин), линкозамид (например, линкомицин) и макролид (например, эритромицин). При клиническом мастите следует проявлять особую осторожность при назначении лечения крупного рогатого скота антимикробными препаратами, поскольку антибиотики не всегда необходимы, например, в случаях отрицательных лабораторных результатов. Однако, тяжелые формы мастита, вызванные *E. coli*, требуют немедленного лечения после постановки диагноза из-за эндотоксин-индуцированного шока [5, 15,16,23].

Патологические изменения в молочной железе могут препятствовать распределению антимикробных препаратов в паренхиме вымени, не позволяя антимикробному препарату достичь места локализации воспаления или достичь субингибиторных концентраций. Существует предположение, что способность *E. coli* формировать биопленки на эпителии инфицированной молочной железы играет ключевую роль в развитии рецидивирующего мастита, поскольку биопленка обуславливает врожденную устойчивость патогена к комбинированной антимикробной терапии. Помимо этого, *E. coli* служит резервуаром генов антибиотикорезистентности и способна передавать их другим бактериям посредством горизонтального переноса. Согласно исследованиям, у маститных штаммов *E. coli* наиболее часто выявляются гены, кодирующие устойчивость к аминогликозидам (*aadA*), стрептомицину (*strA*, *strB*), тетрациклам (*tetA*, *tetC*), сульфаниламидам (*sulI*, *sulII*), ампициллину (*ampC*) и бета-лактамам (*blaTEM*, *blaCTX-M*). Отдельного внимания заслуживает продукция ферментов бета-лактамаз расширенного спектра (ESBL), представляющих собой один из наиболее серьезных механизмов резистентности при мастите, ассоциированном с *E. coli*. [15,9]. Эти ферменты локализованы в плазмидах и могут гидролизовать пенициллин, цефалоспорины третьего и четвер-

того поколений и монобактамовые антибиотики. Выявление изолятов, продуцирующих ESBL, вызывает опасения из-за прямой связи между мультирезистентными бактериями и высокими показателями смертности среди людей. В глобальном масштабе регистрируется неуклонный рост колонизации кишечника здорового населения ESBL-продуцирующими штаммами *E. coli*: с 2,6% в 2003–2005 гг. до 21,1% в 2015–2018 гг., что соответствует среднегодовому приросту в 1,2%. Параллельно с этим в ряде стран (Китай, Египет, Германия, Греция и др.) зафиксировано выделение подобных штаммов от крупного рогатого скота с клиническими проявлениями мастита. Обнаружение ESBL-продуцентов в молоке вызывает обоснованную тревогу в связи с возможностью передачи этих патогенов человеку при употреблении сырой молочной продукции. Степень контаминации молока данными изолятами варьирует в широких пределах — от 0,4% до 25,4% [5,15,16,20,23].

Для рационального применения антимикробных препаратов и обоснованного выбора терапии, направленной исключительно на те четверти вымени, где возможно излечение, необходимо проводить оценку чувствительности возбудителей колимформного мастита. С этой целью используются такие методы, как антибиотикограмма, диско-диффузионный метод и определение минимальной ингибирующей концентрации (МИК).

На сегодняшний день в лабораторной практике наиболее востребован метод определения минимальных ингибирующих концентраций (МИК), отличающийся более высокой точностью по сравнению с классической антибиотикограммой [5,15,16,20,23].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Андреева А.А., Евграфова В.А., Воронина М.С., Прунтова О.В., Шадрова Н.Б. Этиология и эпидемиология мастита коров (аналитический обзор). Ветеринария сегодня. 2024;13(1):27-35. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-1-27-35>
2. Забровская А.В. Патогенные *Escherichia coli*: факторы вирулентности, распространение, проблемы диагностики. Международный вестник ветеринарии. 2023;4:87-95. DOI 10.52419/issn2072-2419.2023.4.87
3. Машнин Д.В., Лещева Н.А., Плешакова В.И., Машнин А.В. Контроль серозного мастита коров, осложненного антибиотикорезистентной микрофлорой. Ветеринария. 2025;9:39-43. DOI 10.30896/0042-4846.2025.28.9.39-43
4. Плешакова В.И., Лещева Н.А., Антоневский И.В. Новые подходы к проблеме антибиотикорезистентности бактерий, выделенных у сельскохозяйственных и диких животных в свете концепции "Единое здоровье". Развитие агропромышленного комплекса в науке и образовании Российской Федерации в период цифровизации : Сборник материалов международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 18–21 сентября 2024 года. Екатеринбург. Уральский государственный аграрный университет. 2024: 156-164.
5. Пырников А.С., Крылова Е.В., Солтынская И.В. и др. Молекулярно-генетическая и фенотипическая оценка бактерий, выделенных при ветеринарном мониторинге резистентности. Генетические и радиационные технологии в сельском хозяйстве : Сборник докладов III международной молодежной конференции, Обнинск, 23–24 октября 2024 года. Обнинск: НИЦ "Курчатовский институт" - ВНИИРАЭ. 2024:76-79.
6. Ручко Е.Н., Плешакова В.И. Проблема антибиотикорезистентности микроорганизмов при лечении больных животных. Актуальные проблемы лечения и профилактики болезней молодняка : Материалы Международной научно-практической конференции, Витебск, 02–04 ноября 2022 года. Витебск: Учреждение образования "Витебская ордена "Знак Почета" государственная академия ветеринарной медицины ". 2022: 288-292.
7. Семьнин Т.А. *Escherichia coli* как один из возбудителей маститов крупного рогатого скота (обзор). В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. 2024: 4975-4978.
8. Addis M.F., Maffioli E.M., Cecilian F., Tangorra, F.M. Proteomics for the diagnosis of bovine mastitis: A

Однако, применение данного метода ограничено при исследовании бактерий, образующих биопленки, поскольку концентрация антибиотика, требуемая для эрадикации биопленочных структур, существенно (в несколько раз) превышает значения МИК, получаемые стандартным методом серийных разведений [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инфекционный мастит колимформной этиологии в основном обусловлен одним видом бактерий, или даже одним клоном вида. Способность *E. coli* к горизонтальному переносу и приобретению экзогенной ДНК, в том числе детерминант вирулентности, способствует формированию штаммов, адаптированных к тканям молочной железы и способных индуцировать мастит. В связи с этим был предложен новый патотип — маммаропатогенная *E. coli* (МРЕС), ассоциированный с заболеванием у молочного скота. Отдельные изоляты *E. coli*, выделяемые при мастите, вырабатывали механизмы, позволяющие им успешно конкурировать с другой микрофлорой вымени и уклоняться от иммунного ответа хозяина. Вместе с тем следует подчеркнуть, что перечисленные факторы вирулентности не являются строго специфичными для маститных штаммов и широко распространены среди других представителей внекишечных патогенных *E. coli* (ExPEC) [11].

Таким образом, крайне важно понимать принципы, лежащие в основе стратегии инфицирования *E. coli*, чтобы разработать новые подходы к лечению и профилактике мастита, вызываемого этой бактерией, и, возможно, другими патогенами молочной железы.

review of the last decade. *Animal Frontiers*. 2023;13(1):35-43.

9. Alhussien M.N., Dang A.K.. Interaction between stress and the immune system and its implication in the susceptibility to mastitis in dairy cows: A review. *Research in Veterinary Science*. 2020;133:178-185.

10. Bag M.A.S., Khan M.S.R., Sami M.D.H., Begum F., Islam M.S., Rahman M.M., Rahman M.T. Virulence determinants and antimicrobial resistance of *E. coli* isolated from bovine clinical mastitis in some selected dairy farms of Bangladesh. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021;28(11):6317-6323.

11. Bain L. Zadoks R.N. Molecular epidemiology of mastitis pathogens: new tools for old problems. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*. 2024;40(2):205-219.

12. Breen J.E., Bradley A.J. Rational and responsible use of antimicrobials in mastitis control: are we making progress? *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*. 2024;40(2):293-306.

13. Bronzo V., Lopreiato V., Riva F., Amadori M., Curone G., Addis M.F., Cremonesi P., Moroni P., Trevisi E., Castiglioni B. The Role of Innate Immune Response and Microbiome in Resilience of Dairy Cattle to Disease: The Mastitis Model. *Animals (Basel)*. 2020 Aug 11;10(8):1397. PMID: 32796642; PMCID: PMC7459693. doi: 10.3390/ani10081397

14. Cheng W.N., Han S.G. Bovine mastitis: risk factors, therapeutic strategies, and alternative treatments—A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2020;33 (11):1699.

15. Dego O.K. Current status of vaccines for bovine mastitis: A review. *Vaccines*. 2022;10(6): 894.

16. Derakhshani H., Fehr K.B., Sepehri S., Francoz D., De Buck J., Barkema H.W., Plaizier J.C., Khafipour E. Invited review: Microbiota of the bovine udder: Contributing factors and potential implications for udder health and mastitis susceptibility. *J Dairy Sci*. 2018 Dec;101(12):10605-10625. Epub 2018 Oct 3. PMID: 30292553. doi: 10.3168/jds.2018-14860

17. El-Sayed A., Kamel M. Bovine mastitis prevention and control in the post-antibiotic era. *Tropical Animal Health and Production*. 2021;53(2): 236.

18. Fesseha H., Mathewos M., Eshetu E. Isolation and multiple drug resistance patterns of *Escherichia coli* from bovine mastitis in selected dairy farms of Wolaita Sodo, Ethiopia. *Veterinary Medicine: Research and Reports*. 2021;12:259-269.

19. Hogeveen H., van der Voort M. Assessing the economic impact of mastitis. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*. 2023;39(2):191-203.

20. Klaas I.C., Wente N. Environmental mastitis: new challenges and control strategies. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*. 2023;39(2):221-236.

21. Lipkens Z., Piepers S., De Vliegher S. The association of quarter-level somatic cell count and bacteriological status with intramammary infection in early lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2023;106(5): 3521-3534.

22. Liu G., Ali T., Gao J., Han B. Prevalence and characterization of biofilm-forming *Escherichia coli* isolated from bovine mastitis in China. *Journal of Dairy Science*. 2023;106(2):1234-1245.

23. Rainard P., Gilbert F.B., Foucras G. A critical appraisal of mastitis vaccines for dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2022;105(8):6379-6399.

24. Rainard P., Gilbert F.B., Martins R.P., Germon P., Foucras, G. Progress towards the elusive mastitis vaccines. *Vaccines*. 2022;10(2): 296.

25. Rudenko P., Sachivkina N., Vatnikov Y., Shabunin S., Engashev S., Kontsevaya S., Karamyan A., Bokov D., Kuznetsova O., Vasilieva E. Role of microorganisms isolated from cows with mastitis in Moscow region in biofilm formation. *Vet World*. 2021 Jan;14(1):40-48. doi: 10.14202/vetworld.2021.40-48. Epub 2021 Jan 7. PMID: 33642784; PMCID: PMC7896911.

26. Tilahun A. Terefe Y. A review on bovine mastitis with emphasis on its pathogenesis, diagnosis, and control. *Veterinary Medicine: Research and Reports*. 2024;15:1-15.

REFERENCES

1. Andreeva A.A., Evgrafova V.A., Voronina M.S., Pruntova O.V., Shadrova N.B. Etiology and epizootology of bovine mastitis (analytical review). *Veterinary Science Today*. 2024;13(1):27-35. (in Russ) <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-1-27-35>

2. Zbrovskaya A.V. Pathogenic *Escherichia coli*: virulence factors, distribution, and diagnostic problems. *International Veterinary Bulletin*. 2023;4:87-95. (in Russ) DOI 10.52419/issn2072-2419.2023.4.87

3. Mashnin D.V., Leshcheva N.A., Pleshakova V.I., Mashnin A.V. Control of serous mastitis in cows complicated by antibiotic-resistant microflora. *Veterinary science*. 2025; 9: 39-43. (in Russ) DOI 10.30896/0042-4846.2025.28.9.39-43

4. Pleshakova V.I., Leshcheva N.A., Antonevsky I.V. New approaches to the problem of antibiotic resistance of bacteria isolated from farm and wild animals in light of the "One Health" concept. Development of the agro-industrial complex in science and education of the Russian Federation in the era of digitalization: Collection of materials from the international scientific and practical conference, Yekaterinburg, September 18-21, 2024. Yekaterinburg. Ural State Agrarian University. 2024: 156-164. (in Russ)

5. Pyrsikov A.S., Krylova E.V., Soltynskaya I.V. et al. Molecular-genetic and phenotypic evaluation of bacteria isolated during veterinary resistance monitoring. Genetic and radiation technologies in agriculture: Proceedings of the III international youth conference, Obninsk, October 23-24, 2024. Obninsk: NRC "Kurchatov Institute" - VNIIRAE. 2024:76-79. (in Russ)

6. Ruchko E.N., Pleshakova V.I. The problem of antibiotic resistance of microorganisms in the treatment of

- sick animals. Actual problems of treatment and prevention of diseases in young animals: Proceedings of the International scientific and practical conference, Vitebsk, November 2-4, 2022 / Editorial board: N.I. Gavrichenko (editor-in-chief) [et al.]. Vitebsk: Educational Institution "Vitebsk Order of the Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine". 2022: 288-292. (in Russ)
7. Semynin T.A. *Escherichia coli* as a causative agent of bovine mastitis (review). In: University Complex as a Regional Center for Education, Science, and Culture. 2024: 4975-4978. (in Russ)
 8. Addis M.F., Maffioli E.M., Cecilian F., Tangorra, F.M. Proteomics for the diagnosis of bovine mastitis: A review of the last decade. *Animal Frontiers*. 2023;13(1):35-43.
 9. Alhussien M.N., Dang A.K.. Interaction between stress and the immune system and its implication in the susceptibility to mastitis in dairy cows: A review. *Research in Veterinary Science*. 2020;133:178-185.
 10. Bag M.A.S., Khan M.S.R., Sami M.D.H., Begum F., Islam M.S., Rahman M.M., Rahman M.T. Virulence determinants and antimicrobial resistance of *E. coli* isolated from bovine clinical mastitis in some selected dairy farms of Bangladesh. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021;28(11):6317-6323.
 11. Bain L. Zadoks R.N. Molecular epidemiology of mastitis pathogens: new tools for old problems. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*. 2024;40(2):205-219.
 12. Breen J.E., Bradley A.J. Rational and responsible use of antimicrobials in mastitis control: are we making progress? *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*. 2024;40(2):293-306.
 13. Bronzo V., Lopreiato V., Riva F., Amadori M., Curone G., Addis M.F., Cremonesi P., Moroni P., Trevisi E., Castiglioni B. The Role of Innate Immune Response and Microbiome in Resilience of Dairy Cattle to Disease: The Mastitis Model. *Animals (Basel)*. 2020 Aug 11;10(8):1397. PMID: 32796642; PMCID: PMC7459693. doi: 10.3390/ani10081397
 14. Cheng W.N., Han S.G. Bovine mastitis: risk factors, therapeutic strategies, and alternative treatments—A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2020;33 (11):1699.
 15. Dego O.K. Current status of vaccines for bovine mastitis: A review. *Vaccines*. 2022;10(6): 894.
 16. Derakhshani H., Fehr K.B., Sepehri S., Francoz D., De Buck J., Barkema H.W., Plaizier J.C., Khafipour E. Invited review: Microbiota of the bovine udder: Contributing factors and potential implications for udder health and mastitis susceptibility. *J Dairy Sci*. 2018 Dec;101(12):10605-10625. Epub 2018 Oct 3. PMID: 30292553. doi: 10.3168/jds.2018-14860
 17. El-Sayed A., Kamel M. Bovine mastitis prevention and control in the post-antibiotic era. *Tropical Animal Health and Production*. 2021;53(2): 236.
 18. Fesseha H., Mathewos M., Eshetu E. Isolation and multiple drug resistance patterns of *Escherichia coli* from bovine mastitis in selected dairy farms of Wolaita Sodo, Ethiopia. *Veterinary Medicine: Research and Reports*. 2021;12:259-269.
 19. Hogeveen H., van der Voort M. Assessing the economic impact of mastitis. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*. 2023;39(2):191-203.
 20. Klaas I.C., Wente N. Environmental mastitis: new challenges and control strategies. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*. 2023;39(2):221-236.
 21. Lipkens Z., Piepers S., De Vliegher S. The association of quarter-level somatic cell count and bacteriological status with intramammary infection in early lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2023;106(5): 3521-3534.
 22. Liu G., Ali T., Gao J., Han B. Prevalence and characterization of biofilm-forming *Escherichia coli* isolated from bovine mastitis in China. *Journal of Dairy Science*. 2023;106(2):1234-1245.
 23. Rainard P., Gilbert F.B., Foucras G. A critical appraisal of mastitis vaccines for dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2022;105(8):6379-6399.
 24. Rainard P., Gilbert F.B., Martins R.P., Germon P., Foucras, G. Progress towards the elusive mastitis vaccines. *Vaccines*. 2022;10(2): 296.
 25. Rudenko P., Sachivkina N., Vatnikov Y., Shabunin S., Engashev S., Kontsevaya S., Karamyan A., Bokov D., Kuznetsova O., Vasilieva E. Role of microorganisms isolated from cows with mastitis in Moscow region in biofilm formation. *Vet World*. 2021 Jan;14(1):40-48. doi: 10.14202/vetworld.2021.40-48. Epub 2021 Jan 7. PMID: 33642784; PMCID: PMC7896911.
 26. Tilahun A. Terefe Y. A review on bovine mastitis with emphasis on its pathogenesis, diagnosis, and control. *Veterinary Medicine: Research and Reports*. 2024;15:1-15.

Поступила в редакцию / Received: 20.03.2026

Поступила после рецензирования / Revised: 05.06.2026

Принята к публикации / Accepted: 30.06.2026