



<https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-4-410-417>

УДК 619:579.831:615.331.015.8:631.14:636



Антибиотикорезистентность бактериальных патогенов, циркулирующих на молочнотоварном предприятии Свердловской области

Н. А. Безбородова, М. Н. Исакова, О. В. Соколова, В. Д. Зубарева, Ч. Р. Юсупова, А. Н. Васильева

ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук»
(ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН), ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, 620142, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. В настоящее время возникла необходимость разработки единой стратегии рациональной антибиотикотерапии, включающей мониторинг чувствительности микроорганизмов, ротацию препаратов и использование альтернативных методов лечения, позволяющих сократить распространение антибиотикорезистентных изолятов бактерий.

Цель исследования. Определение бактериальных патогенов, вызывающих мастит у коров, с оценкой их устойчивости к антимикробным препаратам, применяемым на животноводческом предприятии, расположенном на территории Свердловской области, для последующей ротации антимикробных средств и разработки индивидуальных рекомендаций.

Материалы и методы. Исследования проведены в 2022–2024 гг. на базе сельскохозяйственного предприятия Свердловской области. Идентификацию выросших колоний производили методом MALDI-ToF масс-спектрометрии, чувствительность к антимикробным препаратам определяли диско-диффузионным методом, гены резистентности к антибиотикам выявляли с помощью полимеразной цепной реакции в режиме реального времени.

Результаты. В 2022 г. результаты исследований показали наличие в секрете молочной железы *Streptococcus* spp. (70,6%), *Escherichia coli* (52,9%), *Staphylococcus aureus* (35,3%), *Streptococcus agalactiae* (23,5%). Изоляты *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* обладали резистентностью к нескольким группам антимикробных препаратов: аминогликозидам, пенициллинам, тетрациклином и фторхинолонам (ципрофлоксацину), ванкомицину. Установили гены устойчивости: *blaDHA*, *blaCTX-M* и *blaOXA-10* – у *Escherichia coli* (5%); *ErmB* – у группы бактерий *Streptococcus* (4%); *MecA* – у *Staphylococcus aureus* (единично). При повторном исследовании в 2023 г. наблюдали, что все изолированные бактерии (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Enterobacter* spp., *Streptococcus* spp., *Enterococcus faecalis/faecium*) были чувствительны ко всем антимикробным препаратам. У одного изолятов *Pseudomonas aeruginosa* выявлены гены *blaVIM*, *blaNDM*. Результаты, полученные в 2024 г., показали преобладание в пробах секрета молочной железы *Escherichia coli* и *Staphylococcus* spp. (100%), *Klebsiella pneumoniae* (30%), *Enterobacter* spp. (20%), *Enterococcus faecalis/faecium* (10%). Были выявлены 8 различных генов резистентности к антимикробным препаратам, также обнаружены карбапенем-устойчивые бактерии и ванкомицин-устойчивый *Enterococcus* spp. (ген *VanB*). На основе лабораторных исследований, проведенных в 2022–2024 гг. на животноводческом предприятии Свердловской области, разработаны и апробированы меры контроля антимикробной резистентности возбудителей мастита у коров.

Заключение. Замена устаревших схем лечения (тетрациклины, аминогликозиды, цефалоспорины II поколения) на цефалоспорины I/III/IV поколений и фторхинолоны временно снизила резистентность. Возврат к прежним схемам в 2024 г. вызвал резкий рост полирезистентности. В связи с чем даны рекомендации, включающие непрерывный мониторинг резистентности возбудителей, строгое соблюдение ротации антибиотиков, долгосрочное применение схем лечебных мероприятий, внедрение дополнительных молекулярно-генетических методов для детекции генов устойчивости бактерий в целях контроля ситуации на животноводческом предприятии.

Ключевые слова: мониторинг, антибиотикорезистентность, антимикробные препараты, ротация препаратов, лабораторная диагностика, крупный рогатый скот, дезинфицирующие средства

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме № 0532-2021-0004 «Разработка методологических подходов к мониторингу, контролю и сдерживанию антибиотикорезистентности оппортунистических микроорганизмов в животноводстве».

Для цитирования: Безбородова Н. А., Исакова М. Н., Соколова О. В., Зубарева В. Д., Юсупова Ч. Р., Васильева А. Н. Антибиотикорезистентность бактериальных патогенов, циркулирующих на молочнотоварном предприятии Свердловской области. *Ветеринария сегодня*. 2025; 14 (4): 410–417. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-4-410-417>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для корреспонденции: Васильева Анна Николаевна, младший научный сотрудник отдела ветеринарно-лабораторной диагностики с испытательной лабораторией ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, 620142, Россия, milka0411@ya.ru

Antibiotic resistance of bacterial pathogens circulating on a dairy farm in Sverdlovsk Oblast

Natalia A. Bezborodova, Maria N. Isakova, Olga V. Sokolova, Vladlena D. Zubareva, Chulpan R. Yusupova, Anna N. Vasilevaya

Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Belinsky, 112a, Ekaterinburg 620142, Russia

ABSTRACT

Introduction. Currently, there is a need to develop a unified strategy for rational antibiotic therapy, including monitoring the sensitivity of microorganisms, medicinal product rotation, and the use of alternative treatment methods to reduce the spread of antibiotic-resistant bacterial isolates.

© Безбородова Н. А., Исакова М. Н., Соколова О. В., Зубарева В. Д., Юсупова Ч. Р., Васильева А. Н., 2025

Objective. Identification of bacterial pathogens that cause mastitis in cows, with an assessment of their resistance to antimicrobial medicinal products used at a livestock farm located in Sverdlovsk Oblast, for subsequent rotation of antimicrobial agents and the development of individual recommendations.

Materials and methods. The research was conducted in 2022–2024 on the basis of an agricultural farm located in Sverdlovsk Oblast. The identification of grown colonies was performed using MALDI-ToF mass spectrometry, susceptibility to antimicrobial medicinal products was determined by the disk diffusion method, and antibiotic resistance genes were detected by qPCR.

Results. In 2022, test results showed the presence of *Streptococcus* spp. (70.6%), *Escherichia coli* (52.9%), *Staphylococcus aureus* (35.3%), and *Streptococcus agalactiae* (23.5%) in breast secretions. Isolates of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* were resistant to several groups of antimicrobial medicinal products: aminoglycosides, penicillins, tetracyclines and fluoroquinolones (ciprofloxacin), and vancomycin. Resistance genes were identified: *blaDHA*, *blaCTX-M*, and *blaOXA-10* in *Escherichia coli* (5%); *ErmB* in the group of bacteria *Staphylococcus* and *Streptococcus* (4%); *MecA* in *Staphylococcus aureus* (isolated cases). Upon repeated testing in 2023, it was observed that all isolated bacteria (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Enterobacter* spp., *Streptococcus* spp., *Enterococcus faecalis/faecium*) were sensitive to all antimicrobial medicinal products. The *blaVIM* and *blaNDM* genes were detected in one *Pseudomonas aeruginosa* isolate. The test results obtained in 2024 showed the predominance of *Escherichia coli* and *Staphylococcus* spp. (100%), *Klebsiella pneumoniae* (30%), *Enterobacter* spp. (20%), *Enterococcus faecalis/faecium* (10%) in breast secretion samples. Eight different antimicrobial resistance genes were identified, along with the detection of carbapenem-resistant bacteria and vancomycin-resistant *Enterococcus* spp. (*VanB* gene). Based on laboratory tests conducted in 2022–2024 at a livestock farm in Sverdlovsk Oblast, measures to control antimicrobial resistance in bovine mastitis pathogens have been developed and tested.

Conclusion. Replacement of outdated treatment regimens (tetracyclines, aminoglycosides, cephalosporins of the II generation) with cephalosporins of the I/III/IV generations and fluoroquinolones temporarily reduced resistance. However, reverting to the previous protocols in 2024 caused a sharp increase in multidrug resistance. Therefore, recommendations have been provided. These include continuous monitoring of pathogen resistance, strict adherence to antibiotic rotation schedules, long-term application of the revised treatment protocols, and the implementation of additional molecular genetic methods to detect bacterial resistance genes. These measures are aimed at controlling the situation at the livestock farm.

Keywords: monitoring, antibiotic resistance, antimicrobial medicinal products, medicinal product rotation, laboratory testing, cattle, disinfectants

Acknowledgements: The study was funded from the budget as part of the fulfillment of state task No. 0532-2021-0004 "Development of methodological approaches to monitoring, control and containment of antibiotic resistance of opportunistic microorganisms in livestock farming".

For citation: Bezbordova N. A., Isakova M. N., Sokolova O. V., Zubareva V. D., Yusupova Ch. R., Vasilyeva A. N. Antibiotic resistance of bacterial pathogens circulating on a dairy farm in Sverdlovsk Oblast. *Veterinary Science Today*. 2025; 14 (4): 410–417. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-4-410-417>

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interests.

For correspondence: Anna N. Vasilyeva, Junior Researcher, Department of Veterinary and Laboratory Diagnosis and Testing Laboratory, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Belinsky, 112a, Ekaterinburg 620142, Russia, milka0411@ya.ru

ВВЕДЕНИЕ

Нерациональное использование антимикробных препаратов (АМП) в животноводстве привело к тому, что сельскохозяйственные животные стали резервом устойчивых к антибиотикам бактерий. Резистентные штаммы микроорганизмов представляют угрозу не только для здоровья самих животных, но и могут попадать в организм человека с продуктами животного происхождения (мясо, яйца, молочные продукты). В настоящее время возникла необходимость разработки единой стратегии рационального применения АМП, включающей мониторинг чувствительности микроорганизмов, ротацию препаратов и использование альтернативных методов, позволяющих сократить их применение. Важными мерами также являются переход к экстенсивным системам животноводства, снижение стресса у животных и соблюдение гигиенических норм. Ученые всего мира акцентируют внимание на глобальном характере проблемы антибиотикорезистентности и важности международного сотрудничества для ее решения [1, 2, 3, 4]. Зарубежные авторы подчеркивают необходимость скоординированных глобальных, региональных и национальных стратегий, основанных на принципах «единого здоровья» (One Health), для сокращения использования антимикробных препаратов и поиска альтернатив [5, 6, 7]. Всемирная организация здравоохранения и Всемирная организация здраво-

охранения животных разработали списки критически важных антибиотиков для медицины и ветеринарии, чтобы ограничить их нерациональное применение [3].

Отечественные ученые опытным путем установили, что многократное использование одних и тех же антибиотиков в лечебно-профилактических схемах как для крупного рогатого скота, так и для сельскохозяйственной птицы приводит к развитию устойчивости у патогенной микрофлоры. Это снижает эффективность препаратов, негативно влияет на продуктивность и увеличивает риски для здоровья животных [8, 9, 10].

Опыт ведущих зарубежных ученых в области медицины показывает, что периодическая смена антибиотиков может способствовать снижению риска развития резистентности к антимикробным препаратам (AMP). Ротация препаратов может существенно повышать чувствительность антибиотикорезистентных штаммов бактерий. Изменение протоколов лечения, рутинно применяемых в практической работе, способно приносить положительные результаты даже по прошествии нескольких лет. Авторы также проводили многоцентровые исследования для подтверждения этих результатов и оптимизации как частоты, так и вариантов ротации антибиотиков [11, 12].

По мнению многих исследователей, для более эффективного противодействия устойчивости к АМП необходим интегрированный подход, сочетающий

оптимизацию антибиотикотерапии, жесткие меры инфекционного контроля, инновационные методы (например, быстрая диагностика резистентности) и мониторинг AMP [13, 14].

В современных отечественных публикациях также учитывают экологический статус территорий Российской Федерации при разработке мер по контролю AMP. Авторы говорят об усилении мониторинга радионуклидов и тяжелых металлов в кормах, а также антибиотикорезистентности на фермах в промышленных зонах с одновременным развитием адаптивных технологий животноводства для снижения стрессовой нагрузки на животных в загрязненных районах [15]. Исследователи подчеркивают необходимость широкого применения альтернативных методов, например использование вакцинации, пробиотиков, фитобиотиков, бактериофагов, бактериоцинов, ротации антибиотиков с осуществлением контроля их применения в промышленном животноводстве и птицеводстве [1, 16, 17]. Однако, несмотря на многообещающие результаты использования данных методов, большинство из них требуют дополнительных исследований, особенно в условиях конкретных сельскохозяйственных предприятий [17, 18, 19, 20].

Актуальность исследований, направленных на выявление антибиотикорезистентности у бактериальных патогенов, обусловлена сложной ситуацией в животноводстве, представляющей серьезную угрозу для здоровья как животных, так и для человека через пищевую цепь. Нерациональное использование AMP привело к появлению и распространению устойчивых штаммов микроорганизмов, что значительно снизило эффективность терапии и потребовало разработки новых подходов к лечению инфекционных заболеваний сельскохозяйственных животных. В условиях Свердловской области, характеризующейся развитым животноводством, проблема AMP приобретает особую значимость, что обуславливает необходимость проведения локального мониторинга и разработки персонализированных рекомендаций для конкретных предприятий.

Новизна работы заключалась в комплексном исследовании динамики микробного пейзажа и профиля резистентности возбудителей маститов в условиях реального животноводческого предприятия, расположенного на территории Свердловской области. Практическая новизна заключается в разработке и апробации алгоритма ротации AMP на основе регулярного молекулярно-генетического мониторинга, показавшего эффективность в условиях производственного стада.

Целью исследования стало определение бактериальных патогенов, вызывающих мастит у коров, с оценкой их устойчивости к AMP, применяемым на животноводческом предприятии, расположенном на территории Свердловской области, для последующей ротации таких препаратов и выдачи персонализированных рекомендаций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа проведена в рамках государственного задания Минобрнауки России «Разработка методологических подходов к мониторингу, контролю и сдерживанию антибиотикорезистентности оппортунистических микроорганизмов в животноводстве» (№ 0532-2021-0004) в отделе геномных исследований и селекции животных, в лаборатории микробиологических и молекулярно-генетических методов исследования и лаборатории биологических технологий отдела ветеринарно-

лабораторной диагностики с испытательной лабораторией ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук».

Исследования включали: мониторинг циркулирующих патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, определение их чувствительности к стандартным антибиотикам и применяемым антимикробным и дезинфицирующим препаратам, определение генов резистентности, а также разработку рекомендаций по ротации AMP, применяемых в лечебных целях при воспалении молочной железы у коров, на отдельно взятом животноводческом молочнотоварном предприятии Свердловской области на протяжении 3 лет (2022, 2023, 2024 гг.).

В 2022 г. было отобрано 10 проб секрета молочной железы от коров с признаками мастита. В 2023 г. на этом же предприятии отобрано 3 объединенные пробы секрета молочной железы от 15 коров с субклиническим маститом; в 2024 г. – 16 проб.

Микробиологические исследования проводили в соответствии с «Методическими указаниями по бактериологическому исследованию молока и секрета вымени коров» (утв. Главным управлением ветеринарии Минсельхоза СССР 30 декабря 1983 г. № 115–69)¹.

Используемые в работе питательные среды: «Основа колумбийского кровяного агара» (Bio-Rad Laboratories, Inc., Франция), дефибринированная кровь барана (ЗАО «ЭКОлаб», Россия), питательная среда для накопления сальмонелл сухая (магниевая среда), висмут-сульфит агар, агар Плоскирева, питательный агар для культивирования микроорганизмов ГРМ-агар (ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии», Россия), агар Сабуро с 2% глюкозы и хлорамфениколом, агар Мюллера – Хинтона (SIFIN diagnostics GmbH, Германия), триптиказо-соевый бульон с 20% глицерина (Condalab, Испания).

Идентификацию выросших колоний производили методом MALDI-ToF масс-спектрометрии (время-пролетная матрично-ассоциированная лазерная десорбционная ионизация масс-спектрометрия) на приборе Vitek[®] MS (bioMérieux, Франция). Для этого бактериальную массу наносили на спот слайда, покрывали 1 мкл матрицы (α -циано-3-гидроксикоричная кислота), высушивали при комнатной температуре, далее считывали прибором масс-спектры рибосомальных белков и сравнивали с базой данных с использованием программного обеспечения MYLA[®] (bioMérieux, Франция).

Чувствительность к антибиотикам определяли диско-диффузионным методом: по стандартной методике, описанной European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST), с использованием агара Мюллера – Хинтона (Bio-Rad Laboratories, Inc., Франция) и дисков, импрегнированных препаратами с определенной нагрузкой (Bio-Rad Laboratories, Inc., Франция). Считывание антибиотикограмм производили с помощью автоматического анализатора ADAGIO (Bio-Rad Laboratories, Inc., Франция). Интерпретацию категорий чувствительности осуществляли в соответствии с критериями EUCAST: Clinical breakpoints-bacteria (v 10.0).

Используемые в работе диски: амоксициллин/claveulanовая кислота, гентамицин, окситетрациклин,

¹ <https://base.garant.ru/72125912/?ysclid=mguhhtg7xh175440448>

Таблица 1

Антибиотикорезистентность и наличие генов устойчивости к АМП у бактериальных патогенов, выделенных из секрета молочной железы коров в 2022 г. (n = 10)

Table 1

Antibiotic resistance and the presence of antimicrobial resistance genes in bacterial pathogens isolated from cow mammary gland secretions, 2022 (n = 10)

| Вид бактерий | Резистентность изолятов к АМП | Гены резистентности к АМП |
|---------------------------|---|--|
| <i>E. coli</i> | Аминогликозиды, пенициллины, тетрациклины | <i>blaDHA</i> , <i>blaCTX-M</i> , <i>blaOXA-10</i> (5% случаев); резистентность к β -лактамам (цефалоспоринам и защищенным пенициллинам) |
| <i>S. aureus</i> | Фторхинолоны (ципрофлоксацин), ванкомицин, тетрациклины | <i>MecA</i> (единично); резистентность к цефалоспоринам II поколения |
| <i>Streptococcus</i> spp. | Чувствительность к АМП | <i>ErmB</i> (4% случаев); резистентность к макролидам, линкозамидам, стрептограминам |

тигеклидин, левофлоксацин, норфлоксацин, цефепим, цефиксим, цефоперазон, цефотаксим, цефподоксим, цефтазидим, цефтриаксон, ципрофлоксацин, цефтиофур (Bio-Rad Laboratories, Inc., Франция). Микробиологические исследования также включали определение чувствительности к применяемым на предприятии при лечении мастита у коров антибактериальным препаратом (2023–2024 гг.) комбинированного типа, содержащим в своем составе антибиотики следующих групп: цефалоспорины, аминогликозиды, тетрациклины и полипептидные антибиотики.

Выделенные культуры микроорганизмов подвергали заморозке при -20°C в пробирке с триптиказо-соевым бульоном с 20% глицерина в качестве криопротектора.

Для постановки полимеразной цепной реакции в режиме реального времени (ПЦР-РВ) использовали наборы для выделения ДНК из биоматериала Diatom™ DNA Prep 200 (ООО «Лаборатория Изоген», Россия) и наборы реагентов для выявления ДНК возбудителей инфекций и генов резистентности к антибиотикам «РЕЗИСТОМ КОМПЛЕКС ESKAPE-V» (ООО НПФ «Литех», Россия). Амплификацию проводили в режиме реального времени с применением анализатора QuantStudio 5 (Thermo Fisher Scientific Inc., США).

На основании результатов проведенных лабораторных исследований были разработаны индивидуальные рекомендации по антибактериальной терапии при заболеваниях молочной железы у коров. Выбор препаратов осуществляли в соответствии с методическими рекомендациями [21], обеспечивающими научно обоснованный подход к ротации антибиотиков, а также согласно приказу Минсельхоза России от 18 ноября 2021 г. № 771², регламентирующему ограничения на применение АМП в ветеринарной медицине.

Для обработки полученных данных использовали программу Microsoft Excel, входящую в пакет программ Microsoft Office Pro 19.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 2022 г. в результате проведенных исследований с применением MALDI-ToF масс-спектрометрии в отобранном биологическом материале (10 проб секрета молочной железы от коров) были выявлены бактериальные изоляты: *Streptococcus* spp. (70,6% проб),

Streptococcus agalactiae (23,5% проб), *Staphylococcus aureus* (35,3% проб), *Escherichia coli* (52,9% проб).

Данные по антибиотикорезистентности и наличию генов устойчивости к АМП у бактериальных патогенов, выделенных из секрета молочной железы коров, представлены в таблице 1.

При определении антибиотикорезистентности диско-диффузионным методом установлено, что все выявленные изоляты *E. coli* обладали устойчивостью к нескольким группам АМП (аминогликозидам, пенициллинам, тетрациклинам) и чувствительностью к цефокситину (цефалоспорин II поколения), ципрофлоксацину (фторхинолон II поколения). Выделенный из всех 10 проб *S. aureus* был резистентен к ципрофлоксацину, ванкомицину (гликопептидный антибиотик), тетрациклинам и чувствителен к хлорамфениколу, цефокситину, в единичных случаях к тобрамицину (аминогликозид) и линезолиду (оксазолидинон). Стрептококки проявляли чувствительность к АМП. Также изоляты *S. aureus*, *E. coli* были резистентны к средствам на основе хлоргексидина и йода, используемым для дезинфекции вымени до и после доения.

Методом ПЦР-РВ обнаружены ключевые гены резистентности: у *E. coli* в 5% случаев – гены *blaDHA*, *blaCTX-M*, *blaOXA-10*, определяющие устойчивость к β -лактамам (цефалоспоринам и защищенным пенициллинам); у группы бактерий рода *Streptococcus* в 4% случаев – ген *ErmB*, отвечающий за резистентность к макролидам, линкозамидам, стрептограминам; у одного изолятов *S. aureus* – ген *MecA*, регулирующий резистентность к цефалоспоринам II поколения.

На основании полученных результатов были разработаны рекомендации по антибиотикотерапии с целью повышения ее эффективности и предупреждения дальнейшего распространения АМР. В качестве приоритетных препаратов для терапии мастита было рекомендовано применение цефазолина, цефтиофура, цефкинома (цефалоспорины I, III и IV поколений соответственно) и ципрофлоксацина (фторхинолон II поколения). Из лечебных схем предложено исключить ранее используемые многокомпонентные препараты, в состав которых входят тетрациклины и аминогликозиды, а также

² <https://fsvp.gov.ru/files/prikaz-minselhoza-rossii-ot-18-nojabrja-2021-2/?ysclid=mgqesh36jf335708795>

Таблица 2

Антибиотикорезистентность и наличие генов устойчивости к АМП у бактериальных патогенов, выделенных из секрета молочной железы коров в 2024 г. (n = 16)

Table 2

Antibiotic resistance and the presence of antimicrobial resistance genes in bacterial pathogens isolated from cow mammary gland secretions, 2024 (n = 16)

| Вид бактерий | Резистентность изолятов к АМП | Гены резистентности к АМП |
|----------------------------|-----------------------------------|--|
| <i>E. coli</i> | Цефалоспорины, карбапенемы (100%) | <i>blaOXA-10</i> (30% случаев), <i>blaCTX-M</i> (единично); резистентность к цефалоспоринам |
| <i>S. aureus</i> | Цефалоспорины, карбапенемы (100%) | Не выявлены |
| <i>Staphylococcus</i> spp. | Цефалоспорины, карбапенемы (100%) | <i>MecA</i> (50% случаев); резистентность к β -лактамам |
| <i>K. pneumoniae</i> | Чувствительность к АМП | <i>blaKPC</i> , <i>blaOXA-48-like</i> (50% случаев); резистентность к карбапенемам |
| <i>Enterobacter</i> spp. | Чувствительность к АМП | <i>blaGes</i> , <i>blaDHA</i> (30% случаев); резистентность к карбапенемам, защищенным пенициллинам и цефалоспоринам |
| <i>E. faecalis/faecium</i> | Чувствительность к АМП | <i>VanB</i> (единично); резистентность к гликопептидам (ванкомицину) |

макролиды и цефалоспорины II поколения. Рекомендовано с осторожностью применять АМП группы пенициллинов. Показано проводить контроль дезинфекции доильного оборудования и мониторинг резистентности выявляемых возбудителей каждые 6 мес.

В 2023 г. микробиологические исследования, выполненные диско-диффузионным методом, 3 объединенных проб секрета молочной железы от 15 коров с субклиническим маститом позволили установить, что единичные выделенные из биологического материала методом MALDI-ToF масс-спектрометрии изоляты *E. coli* и *S. aureus* обладали резистентностью к ципрофлоксацину. Остальные изоляты бактерий (*S. aureus*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Streptococcus* spp., *Enterococcus faecalis/faecium*) были чувствительны ко всем АМП. Следует отметить, что изоляты *E. coli* и *S. aureus* проявляли чувствительность к средствам на основе хлоргексидина и йода, используемым для дезинфекции вымени до и после доения. Методом ПЦР-РВ у одного изолята *Pseudomonas aeruginosa* выявлены гены *blaVIM*, *blaNDM*, отвечающие за резистентность к карбапенемам. Остальные бактериальные изоляты были свободны от генетических мутаций, что говорит о рациональном использовании антибактериальных средств в хозяйстве в исследуемый период и дальнейшей возможности применения большего спектра антимикробных групп препаратов в лечении воспалительных заболеваний молочной железы у коров с учетом определения их фенотипической антибиотикочувствительности.

На протяжении 2022–2023 гг. было установлено, что выявленные изоляты являлись устойчивыми к применяемым средствам для обработки сосков после доения. В связи с чем были рекомендованы к использованию комбинации дезинфектантов с разным механизмом действия для оптимизации гигиенических мероприятий при доении. В качестве препарата выбора для обработки сосков вымени коров после доения было предложено средство, состоящее из комплекса поливинилпирролидона с йодом.

Проведенные микробиологические исследования на том же предприятии в 2024 г. показали преобладание в 16 отобранных пробах секрета молочной железы

от коров с маститом таких бактерий, как *E. coli* и *Staphylococcus* spp. (100% проб), *K. pneumoniae* (30%), реже были обнаружены *Enterobacter* spp. (20%) и *E. faecalis/faecium* (10%).

Данные по антибиотикорезистентности и наличию генов устойчивости к АМП у бактериальных патогенов, выделенных из секрета молочной железы коров в 2024 г., представлены в таблице 2.

С помощью диско-диффузионного метода было выявлено, что все изоляты *E. coli*, *S. aureus* и *Staphylococcus* spp. обладали резистентностью к цефалоспоринам, карбапенемам. Методом ПЦР-РВ у 30% *E. coli* обнаружены гены *blaOXA-10*, определяющие устойчивость к АМП из группы цефалоспоринов, и единично гены *blaCTX-M*. У 50% изолятов *K. pneumoniae* выявлены гены *blaKPC* и *blaOXA-48-like*, отвечающие за резистентность к карбапенемам. У 50% изолятов *Staphylococcus* spp. установлено наличие гена *MecA*, обуславливающего устойчивость к β -лактамам. Представители рода *Enterobacter* в 30% случаев имели гены резистентности (*blaGes*, *blaDHA*) к карбапенемам, защищенным пенициллинам и цефалоспоринам. Единично в биологических пробах обнаружены *E. faecalis/faecium* с наличием гена устойчивости (*VanB*) к гликопептидам. Таким образом, у культур микроорганизмов, изолированных в 2024 г. из секрета молочной железы от коров, было выявлено 8 различных генов резистентности к АМП. Установлена высокая распространенность множественной лекарственной устойчивости у выявленной бактериальной микрофлоры секрета молочной железы, а также обнаружена резистентность к антибиотикам резерва.

Все выделенные в 2024 г. изоляты были чувствительны к предложенному в 2023 г. средству для обработки сосков вымени коров после доения, состоящему из комплекса поливинилпирролидона с йодом.

На основе результатов исследований для животноводческого предприятия были рекомендованы пересмотр схем лечения маститов с обязательным тестированием чувствительности выявляемых возбудителей, усиление мер биологической безопасности (дезинфекция оборудования, карантин животных) и внедрение

регулярного мониторинга антибиотикорезистентности. Указано на необходимость применения критически важных антибиотиков (цефалоспоринов III, IV поколений, фторхинолонов) только в крайних случаях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных микробиологических исследований и MALDI-ToF масс-спектрометрии в секрете молочной железы от коров были идентифицированы следующие доминирующие бактериальные патогены: в 2022 г. – *Streptococcus* spp. (70,6%), *S. agalactiae* (23,5%), *S. aureus* (35,3%), *E. coli* (52,9%); в 2023 г. – чувствительные к АМП *S. aureus*, *Escherichia coli*, *Enterobacter* spp., *Streptococcus* spp., *E. faecalis/faecium*, *P. aeruginosa*, единично *E. coli* и *S. aureus*, обладающие резистентностью к ципрофлоксацину; в 2024 г. – *E. coli* и *Staphylococcus* spp. в 100% проб и появление новых патогенных бактерий: *K. pneumoniae* (30%), *Enterobacter* spp. (20%) и *E. faecalis/faecium* (10%).

В 2022 г. у *E. coli* выявили резистентность к аминогликозидам, пенициллинам, тетрациклином и наличие у 5% изолятов одновременно нескольких генов резистентности *blaDHA*, *blaCTX-M* и *blaOXA-10* к цефалоспоринам и защищенным пенициллинам; у *S. aureus* установлена устойчивость к фторхинолонам, ванкомицину, тетрациклином и в единичном случае обнаружен ген резистентности *MecA* к цефалоспоринам II поколения; 4% бактерий группы *Streptococcus* spp. содержали ген резистентности к макролидам, линкозамидам, стрептограминам. В 2023 г. у выделенных изолятов гены резистентности к АМП выявлены не были, за исключением одного изолята *P. aeruginosa*, у которого установлены гены резистентности к карбапенемам *blaVIM* и *blaNDM*. В 2024 г. у 30% *E. coli* обнаружены гены *blaOXA-10* и единично гены *blaCTX-M*, которые отвечают за устойчивость к цефалоспоринам. У 50% *K. pneumoniae* выявлены гены резистентности *blaKPC*, *blaOXA-48-like* к карбапенемам, а у *Staphylococcus* spp. – ген *MecA*, обуславливающий устойчивость к β-лактамам; у 30% *Enterobacter* spp. – гены резистентности *blaGes*, *blaDHA* к карбапенемам, защищенным пенициллинам и цефалоспоринам. В единичных случаях у *E. faecalis/faecium* обнаружен ген устойчивости *VanB* к гликопептидам.

В 2022 г. установлена необходимость исключения из лечебных схем многокомпонентных препаратов, используемых при лечении маститов у коров, на основе тетрациклинов, аминогликозидов, макролидов и цефалоспоринов II поколения. В качестве альтернативы рекомендовано применение цефазолина, цефтиофура, цефкинома (цефалоспорины I, III и IV поколений) и ципрофлоксацина (фторхинолон II поколения). Внедрение системы ротации антибиотиков на основе мониторинга позволило в 2023 г. временно снизить уровень резистентности. Однако последующий возврат к прежним схемам лечения в 2024 г. спровоцировал резкий рост полирезистентности среди бактериальных возбудителей мастита. Полученные результаты подтверждают необходимость непрерывного мониторинга антибиотикорезистентности, строгого соблюдения рекомендаций по ротации антибиотических препаратов, интеграции молекулярно-генетических методов в систему ветеринарного контроля в качестве инструмента для отслеживания распространенности генов устойчивости к АМП у бактерий.

В 2022–2023 гг. был выявлен рост устойчивости бактериальных изолятов к применяемым на животновод-

ческом молочнотоварном предприятии дезинфицирующим средствам. В качестве препарата выбора для обработки сосков вымени коров после доения было предложено средство, состоящее из комплекса поливинилпирролидона с йодом. Контрольные исследования в 2024 г. подтвердили эффективность данных мер: резистентность к дезинфицирующему средству не была выявлена, что обосновывает целесообразность его дальнейшего применения на животноводческом предприятии.

Результаты работы имеют практическую значимость для ветеринарной службы предприятия и могут быть использованы при разработке региональных программ по контролю antimикробной резистентности в животноводстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Хорошевская Л. В., Хорошевский А. П., Сложенкина М. И., Мосолов А. А. Проблемы антибиотикорезистентности в современном мире. *Аграрно-пищевые инновации*. 2021; 16 (4): 47–54. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2021-16-47-54>
- Забровская А. В. Предотвращение возникновения и распространения штаммов микроорганизмов, устойчивых к antimикробным препаратам. *Иппология и ветеринария*. 2018; (2): 64–70. <https://elibrary.ru/xtugis>
- Киселева Е. В., Туников Г. М. Эффективность использования современных antimикробных препаратов для лечения мастита у коров. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева*. 2017; (4): 40–44. <https://elibrary.ru/ykhklt>
- Безбородова Н. А., Кожуховская В. В., Соколова О. В., Зайцева О. С., Кривоногова А. С., Зубарева В. Д. Генетические маркеры устойчивости и антибиотикорезистентность бактерий группы *Streptococcus* spp. и *Staphylococcus* spp., изолированных из различных биотопов объектов животноводства. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2022; (94): 195–202. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-94-195-202>
- Kasimanickam V., Kasimanickam M., Kasimanickam R. Antibiotics use in food animal production: escalation of antimicrobial resistance: Where are we now in combating AMR? *Medical Sciences*. 2021; 9 (1):14. <https://doi.org/10.3390/medsci9010014>
- Endale H., Mathewos M., Abdeta D. Potential causes of spread of antimicrobial resistance and preventive measures in One Health Perspective – A Review. *Infection and Drug Resistance*. 2023; 16: 7515–7545. <https://doi.org/10.2147/IDR.S428837>
- Pinto Jimenez C. E., Keestra S., Tandon P., Cumming O., Pickering A. J., Moodley A., Chandler C. I. R. Biosecurity and water, sanitation, and hygiene (WASH) interventions in animal agricultural settings for reducing infection burden, antibiotic use, and antibiotic resistance: a One Health systematic review. *The Lancet Planetary Health*. 2023; 7 (5): e418–e434. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00049-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00049-9)
- Зубарева В. Д., Соколова О. В., Безбородова Н. А., Шкуратова И. А., Кривоногова А. С., Бытов М. В. Молекулярные механизмы и генетические детерминанты устойчивости к антибактериальным препаратам у микроорганизмов (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2022; 57 (2): 237–256. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.2.237rus>
- Иванова О. Е., Панин А. Н., Карабанов С. Ю., Макаров Д. А., Ахметзянова А. А., Гергель М. А. Ветеринарный мониторинг antimикробной резистентности в Российской Федерации. *Аграрная наука*. 2021; (45): 7–11. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-347-4-7-11>
- Соколова О. В., Шкуратова И. А., Безбородова Н. А., Кожуховская В. В. Антибиотикорезистентность микробиоты молочной железы и репродуктивного тракта коров. *Ветеринария*. 2021; (9): 10–15. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2021.24.9.10-15>
- Gruson D., Hilbert G., Vargas F., Valentino R., Bui N., Regreyre S., et al. Strategy of antibiotic rotation: long-term effect on incidence and susceptibilities of Gram-negative bacilli responsible for ventilator-associated pneumonia. *Critical Care*

- Medicine.* 2003; 31 (7): 1908–1914. <https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000069729.06687.DE>
12. Van Duijn P. J., Bonten M. J. Antibiotic rotation strategies to reduce antimicrobial resistance in Gram-negative bacteria in European intensive care units: study protocol for a cluster-randomized crossover controlled trial. *Trials.* 2014; 15:277. <https://doi.org/10.1186/1745-6215-15-277>
13. Van Duijn P. J., Verbrugge W., Jorens P. G., Spöhr F., Schedler D., Deja M., et al. The effects of antibiotic cycling and mixing on antibiotic resistance in intensive care units: a cluster-randomised crossover trial. *The Lancet Infectious Diseases.* 2018; 18 (4): 401–409. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(18\)30056-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(18)30056-2)
14. Mora-Gamboa M. P. C., Rincón-Gamboa S. M., Ardila-Leal L. D., Poutou-Piñales R. A., Pedroza-Rodríguez A. M., Quevedo-Hidalgo B. E. Impact of antibiotics as waste, physical, chemical, and enzymatical degradation: use of laccases. *Molecules.* 2022; 27 (14):4436. <https://doi.org/10.3390/molecules27144436>
15. Кривоногова А. С., Логинов Е. А., Исаева А. Г., Беспамятных Е. Н., Лысова Я. Ю., Моисеева К. В. Антибиотикорезистентность условно-патогенных бактерий на животноводческих предприятиях в районах с различным уровнем техногенного загрязнения. *Ветеринария Кубани.* 2024; (2): 13–17. <https://elibrary.ru/eondxa>
16. Плешакова В. И., Лещева Н. А., Кошкин И. Н. Фенотипические и молекулярно-генетические методы определения антибиотикорезистентности микроорганизмов в ветеринарии. *Вестник КрасГАУ.* 2023; (8): 106–115. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-8-106-115>
17. Исакова М. Н., Сивкова У. В., Ряпосова М. В., Шкуратова И. А., Лысов А. В. Показатели качества молока высокопродуктивных коров на фоне применения противомаститной вакцины. *Ветеринария сегодня.* 2020; (4): 255–260. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-4-35-255-260>
18. Зубарева В. Д., Соколова О. В., Бытов М. В., Кривоногова А. С., Вольская С. В. Альтернативные методы лечения мастита крупного рогатого скота: перспективы и ограничения (обзор). *Ветеринария сегодня.* 2024; 13 (3): 203–213. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-3-203-213>
19. Кривоногова А. С., Донник И. М., Исаева А. Г., Логинов Е. А., Петропавловский М. В., Беспамятных Е. Н. Антибиотикорезистентность *Enterobacteriaceae* в микробиомах цыплят-бройлеров. *Техника и технология пищевых производств.* 2023; 53 (4): 710–717. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-4-2472>
20. Исакова М. Н., Лысова Я. Ю. Влияние композиции на основе бактериоцина низина в схеме лечения коров с субклиническим маститом на микробиоту молока. *Ветеринария сегодня.* 2024; 13 (3): 261–268. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-3-261-268>
21. Соколова О. В., Шкуратова И. А., Безбородова Н. А., Зубарева В. Д., Печура Е. В., Шилова Е. Н. и др. Рациональная антибиотикотерапия воспалительных заболеваний репродуктивной системы и молочной железы коров в животноводческих предприятиях Свердловской области: методические рекомендации. Екатеринбург: ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН; 2022; 38 с. <https://elibrary.ru/fssmyf>
- REFERENCES**
1. Khoroshevskaya L. V., Khoroshevsky A. P., Slozhenkina M. I., Mosolov A. A. Problems of antibiotic resistance in the modern world. *Agrarian-and-food innovations.* 2021; 16 (4): 47–54. <http://doi.org/10.31208/2618-7353-2021-16-47-54> (in Russ.)
2. Zabrovskaia A. V. Prevention of the emergence and spread of strains of microorganisms resistant to antimicrobials. *Hippology and Veterinary Medicine.* 2018; (2): 64–70. <https://elibrary.ru/xtugux> (in Russ.)
3. Kiseleva E. V., Tunikov G. M. Efficiency of the use of modern antimicrobial preparations for treatment of mastitis in cows in „IP Chapter K(F)X Kalenich V.V. "Kolomenskoy District of Moscow Region. Herald of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2017; (4): 40–44. <https://elibrary.ru/ykhklt> (in Russ.)
4. Bezborodova N. A., Kozhukhovskaya V. V., Sokolova O. V., Zaitseva O. S., Krivonogova A. S., Zubareva V. D. Genetic markers of antibiotic resistance of *Streptococcus* spp. and *Staphylococcus* spp. isolated from various biotopes of livestock production objects. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University.* 2022; (94): 195–202. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-94-195-202> (in Russ.)
5. Kasimanickam V., Kasimanickam M., Kasimanickam R. Antibiotics use in food animal production: escalation of antimicrobial resistance: Where are we now in combating AMR? *Medical Sciences.* 2021; 9 (1):14. <https://doi.org/10.3390/medsci9010014>
6. Endale H., Mathewos M., Abdeta D. Potential causes of spread of antimicrobial resistance and preventive measures in One Health Perspective – A Review. *Infection and Drug Resistance.* 2023; 16: 7515–7545. <https://doi.org/10.2147/IDR.S428837>
7. Pinto Jimenez C. E., Keestra S., Tandon P., Cumming O., Pickering A. J., Moodley A., Chandler C. I. R. Biosecurity and water, sanitation, and hygiene (WASH) interventions in animal agricultural settings for reducing infection burden, antibiotic use, and antibiotic resistance: a One Health systematic review. *The Lancet Planetary Health.* 2023; 7 (5): e418–e434. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00049-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00049-9)
8. Zubareva V. D., Sokolova O. V., Bezborodova N. A., Shkuratova I. A., Krivonogova A. S., Bytov M. V. Molecular mechanisms and genetic determinants of resistance to antibacterial drugs in microorganisms (review). *Agricultural Biology.* 2022; 57 (2): 237–256. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.2.237eng>
9. Ivanova O. E., Panin A. N., Karabanov S. Yu., Makarov D. A., Akhmetzyanova A. A., Gergel M. A. Veterinary monitoring of antimicrobial resistance in the Russian Federation. *Agricultural Science.* 2021; (4S): 7–11. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-347-4-7-11> (in Russ.)
10. Sokolova O. V., Shkuratova I. A., Bezborodova N. A., Kozhukhovskaya V. V. Antibiotic resistance of microbiota of mammary gland and reproductive tract of cows. *Veterinariya.* 2021; (9): 10–15. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2021.24.9.10-15> (in Russ.)
11. Gruson D., Hilbert G., Vargas F., Valentino R., Bui N., Pereyre S., et al. Strategy of antibiotic rotation: long-term effect on incidence and susceptibilities of Gram-negative bacilli responsible for ventilator-associated pneumonia. *Critical Care Medicine.* 2003; 31 (7): 1908–1914. <https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000069729.06687.DE>
12. Van Duijn P. J., Bonten M. J. Antibiotic rotation strategies to reduce antimicrobial resistance in Gram-negative bacteria in European intensive care units: study protocol for a cluster-randomized crossover controlled trial. *Trials.* 2014; 15:277. <https://doi.org/10.1186/1745-6215-15-277>
13. Van Duijn P. J., Verbrugge W., Jorens P. G., Spöhr F., Schedler D., Deja M., et al. The effects of antibiotic cycling and mixing on antibiotic resistance in intensive care units: a cluster-randomised crossover trial. *The Lancet Infectious Diseases.* 2018; 18 (4): 401–409. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(18\)30056-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(18)30056-2)
14. Mora-Gamboa M. P. C., Rincón-Gamboa S. M., Ardila-Leal L. D., Poutou-Piñales R. A., Pedroza-Rodríguez A. M., Quevedo-Hidalgo B. E. Impact of antibiotics as waste, physical, chemical, and enzymatical degradation: use of laccases. *Molecules.* 2022; 27 (14):4436. <https://doi.org/10.3390/molecules27144436>
15. Krivonogova A. S., Loginov E. A., Isaeva A. G., Bespamyatnukh E. N., Lysova Ya. Yu., Moiseeva K. V. Antibiotic resistance of opportunistic pathogenic bacteria in livestock enterprises in areas with different levels of anthropogenic pollution. *Veterinaria Kubani.* 2024; (2): 13–17. <https://elibrary.ru/eondxa> (in Russ.)
16. Pleshakova V. I., Leshcheva N. A., Koshkin I. N. Phenotypic and molecular genetic methods to determine antibiotic resistance of microorganisms in veterinary medicine. *Bulletin of KSAU.* 2023; (8): 106–115. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-8-106-115> (in Russ.)
17. Isakova M. N., Sivkova U. V., Ryaposova M. V., Shkuratova I. A., Lysov A. V. Quality profile of milk from high producing dairy cows vaccinated against mastitis. *Veterinary Science Today.* 2020; (4): 255–260. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-4-35-255-260>
18. Zubareva V. D., Sokolova O. V., Bytov M. V., Krivonogova A. S., Volskaya S. V. Alternative treatment methods for bovine mastitis: prospects and limitations (review). *Veterinary Science Today.* 2024; 13 (3): 203–213. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-3-203-213> (in Russ.)

19. Krivonogova A. S., Donnik I. M., Isaeva A. G., Loginov E. A., Petropavlovskiy M. V., Bespamyatnykh E. N. Antibiotic resistance of *Enterobacteriaceae* in microbiomes associated with poultry farming. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023; 53 (4): 710–717. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-4-2472> (in Russ.)
20. Isakova M. N., Lysova Ya. Yu. The effect of the nisin-based pharmaceutical formulation used in the treatment plan for cows with subclinical mastitis on the milk microbiota. *Veterinary Science Today*. 2024; 13 (3): 261–268. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-3-261-268>
21. Sokolova O. V., Shkuratova I. A., Bezborodova N. A., Zubareva D., Pechura E. V., Shilova E. N., et al. Rational antibiotic therapy of inflammatory diseases of the reproductive system and mammary gland in cows on livestock farms in Sverdlovsk Oblast: methodological recommendations. Ekaterinburg: Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; 2022; 38 p. <https://elibrary.ru/fssmyf> (in Russ.)

Поступила в редакцию / Received 28.07.2025
Поступила после рецензирования / Revised 25.09.2025
Принята к публикации / Accepted 27.10.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Безбородова Наталья Александровна, канд. вет. наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом геномных исследований и селекции животных ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия; <https://orcid.org/0000-0003-2793-5001>, n-bezborodova@mail.ru

Исакова Мария Николаевна, канд. вет. наук, старший научный сотрудник отдела репродуктивной биологии и неонатологии ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия; <https://orcid.org/0000-0001-7130-5627>, tmarya105@yandex.ru

Соколова Ольга Васильевна, д-р вет. наук, ведущий научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных, руководитель Уральского научно-исследовательского ветеринарного института – структурного подразделения ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия; <https://orcid.org/0000-0002-1169-4090>, nauka_sokolova@mail.ru

Зубарева Владлена Дмитриевна, младший научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия; <https://orcid.org/0000-0003-0284-0276>, zzub97@mail.ru

Юсупова Чулпан Рифовна, д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия; <https://orcid.org/0000-0003-2970-6528>, chulpan-galina@mail.ru

Васильева Анна Николаевна, младший научный сотрудник отдела ветеринарно-лабораторной диагностики с испытательной лабораторией ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия; <https://orcid.org/0009-0002-0723-0434>, milka0411@ya.ru

Natalia A. Bezborodova, Cand. Sci. (Veterinary Medicine), Senior Researcher, Head of Department of Animal Genomics and Selection, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-2793-5001>, n-bezborodova@mail.ru

Maria N. Isakova, Cand. Sci. (Veterinary Medicine), Senior Researcher, Department of Reproductive Biology and Neonatology, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-7130-5627>, tmarya105@yandex.ru

Olga V. Sokolova, Dr. Sci. (Veterinary Medicine), Leading Researcher, Department of Animal Genomics and Selection, Head of Ural Scientific Research Veterinary Institute, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-1169-4090>, nauka_sokolova@mail.ru

Vladlena D. Zubareva, Junior Researcher, Department of Animal Genomics and Selection, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-0284-0276>, zzub97@mail.ru

Chulpan R. Yusupova, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Department of Animal Genomics and Selection, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-2970-6528>, chulpan-galina@mail.ru

Anna N. Vasilyeva, Junior Researcher, Department of Veterinary and Laboratory Diagnosis and Testing Laboratory, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; <https://orcid.org/0009-0002-0723-0434>, milka0411@ya.ru

Вклад авторов: Безбородова Н. А. – администрация, дизайн исследования, отбор проб, лабораторные исследования, подготовка и редактирование текста; Исакова М. Н. – дизайн исследования, отбор проб, подготовка и редактирование текста; Соколова О. В. – отбор проб, редактирование текста; Зубарева В. Д. – отбор проб, лабораторные исследования, работа с литературой, редактирование текста; Юсупова Ч. Р. – работа с литературой, редактирование текста; Васильева А. Н. – работа с литературой, редактирование текста.

Contribution of the authors: Bezborodova N. A. – administration, study design, material sampling, laboratory studies, paper preparation and editing; Isakova M. N. – study design, material sampling, paper preparation and editing; Sokolova O. V. – material sampling, paper editing; Zubareva V. D. – material sampling, laboratory studies, literature searches, paper editing; Yusupova Ch. R. – literature searches, paper editing; Vasilyeva A. N. – literature searches, paper editing.