



<https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-3-255-262>
УДК 619:615.331.015.8:579.842.11



Дрейф генов антибиотикорезистентности патогенных энтеробактерий на примере *Escherichia coli*

Н. В. Пименов¹, К. П. Маликова²

¹ ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина» (ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К. А. Скрябина), ул. Академика Скрябина, 23, г. Москва, 109472, Россия

² ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ), ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Широкое распространение антибиотикорезистентности среди представителей вида *Escherichia coli* является острой проблемой животноводческих и птицеводческих хозяйств, поскольку этот возбудитель является наиболее часто регистрируемым компонентом этиологической структуры желудочно-кишечных заболеваний молодняка сельскохозяйственных животных и птицы, а также нередко выявляется при заболеваниях других органов и систем. Уже сейчас во многих хозяйствах затруднено применение антибактериальных препаратов для лечения заболеваний, вызванных данным патогеном, ввиду циркуляции штаммов, обладающих множественной устойчивостью к большинству применяемых в ветеринарной практике антибиотиков. Известно, что со временем чувствительность микроорганизма к различным группам антибактериальных препаратов изменяется, и нередко весьма значительно. Мониторинг чувствительности может помочь в сдерживании распространения антибиотикорезистентности и оптимальном подборе препаратов для применения их в терапии.

Цель исследования. Анализ и систематизация представленных в научной литературе результатов исследований по изучению устойчивости *Escherichia coli* к антибактериальным препаратам.

Материалы и методы. Проведен поиск работ по заявленной теме в научных журналах и материалах научно-практических конференций.

Результаты. В статье представлены и обобщены литературные данные о тенденциях в резистентности *Escherichia coli* к антибактериальным препаратам.

Заключение. Устойчивость *Escherichia coli* чаще проявляется к β -лактамным антибактериальным препаратам, аминогликозидам, а также тетрациклинам, макролидам (эритромицину) и линкозамидам (линкомицину). Практически во всех исследованиях установлено, что выделенные изоляты *Escherichia coli* характеризуются полирезистентностью (устойчивостью к двум и более препаратам), а в некоторых случаях и мультирезистентностью (устойчивостью по крайней мере к одному препарату из трех и более групп). Результаты определения чувствительности во многих исследованиях значительно отличаются друг от друга, что связано с неодинаковыми условиями формирования антибиотикорезистентности у бактерий на разных животноводческих предприятиях. Для более точной оценки динамики распространения антибиотикорезистентности внутри вида *Escherichia coli* необходимо продолжать изучение чувствительности к антимикробным препаратам различных штаммов, выявляемых в животноводческих и птицеводческих хозяйствах, а также из объектов окружающей среды.

Ключевые слова: обзор, антибиотики, резистентность, *Escherichia coli*, колибактериоз

Для цитирования: Пименов Н. В., Маликова К. П. Дрейф генов антибиотикорезистентности патогенных энтеробактерий на примере *Escherichia coli*. *Ветеринария сегодня*. 2025; 14 (3): 255–262. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-3-255-262>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для корреспонденции: Маликова Ксения Павловна, студент, ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, malksenia2020@mail.ru

Drift of antibiotic resistance genes in pathogenic *Enterobacteriaceae*: a case study of *Escherichia coli*

Nikolai V. Pimenov¹, Ksenia P. Malikova²

¹ Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K. I. Skryabin, 23 Academician Skryabin str., Moscow 109472, Russia

² Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1 Michurina str., Voronezh 394087, Russia

ABSTRACT

Introduction. The widespread antibiotic resistance among representatives of the *Escherichia coli* species is an acute problem for livestock and poultry farms, since this pathogen is the most frequently registered component of the etiological structure of gastrointestinal diseases in young farm animals and poultry, and is also often detected in diseases of other organs and systems. Even now, in many farms, the use of antibacterial drugs to treat diseases caused by this pathogen is difficult due to the circulation of strains with multiple resistance to most antibiotics used in veterinary practice. It is known that over time, the sensitivity of a microorganism to various groups of antibacterial drugs changes, often quite significantly. Sensitivity monitoring can help contain the spread of antibiotic resistance and optimally select drugs for use in therapy.

Objective. Analysis and systematization of the research results presented in the scientific literature on the resistance of *Escherichia coli* to antibacterial drugs.

Materials and methods. A search was conducted for scientific papers on this topic in scientific journals and materials of scientific and practical conferences.

Results. This article presents and summarizes literature data on trends in *Escherichia coli* resistance to antibacterial drugs.

© Пименов Н. В., Маликова К. П., 2025

Conclusion. *Escherichia coli* resistance is most often demonstrated to β -lactam antibacterial drugs, aminoglycosides, as well as tetracyclines, macrolides (erythromycin) and lincosamides (lincomycin). In almost all studies, *Escherichia coli* exhibits polyresistance (resistance to two or more drugs) and in some cases, multiresistance (resistance to at least one drug from three or more groups). The results of susceptibility determination in many studies differ significantly from each other, which is associated with different conditions for the formation of antibiotic resistance in bacteria on different livestock enterprises. For a more accurate assessment of the dynamics of the spread of antibiotic resistance within the *Escherichia coli* species, it is necessary to continue studying the sensitivity to antimicrobial drugs of various strains detected in livestock and poultry farms, as well as from environmental objects.

Keywords: review, antibiotics, resistance, *Escherichia coli*, colibacteriosis

For citation: Pimenov N. V., Malikova K. P. Drift of antibiotic resistance genes in pathogenic *Enterobacteriaceae*: a case study of *Escherichia coli*. *Veterinary Science Today*. 2025; 14 (3): 255–262. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-3-255-262>

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

For correspondence: Ksenia P. Malikova, Student, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1 Michurina str., Voronezh 394087, Russia, malksenia2020@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Escherichia coli – возбудитель колибактериозов животных, являясь представителем условно-патогенной микрофлоры, играет значимую роль в патогенезе многих других заболеваний. Данный микроорганизм часто выделяют из патологического материала животных и человека, главным образом при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, а также при акушерско-гинекологических патологиях, болезнях дыхательной системы и мочевыводящих путей. Биоварианты кишечной палочки, являющиеся причиной колибактериоза, разделяют на 7 патотипов, в том числе энтеротоксигенная (ETEC), энтеропатогенная (EPEC), энтерогеморрагическая (EHEC), шигатоксинпродуцирующая (STEC) и патогенная для птиц.

На сегодняшний день колибактериоз представляет серьезную проблему для животноводства и в особенности для промышленного птицеводства, поскольку относится к наиболее часто регистрируемым бактериальным инфекциям птиц (выявляется в 40–70% случаев). Значительному осложнению ситуации способствует широкое распространение у *E. coli* резистентности ко всем существующим группам антибактериальных средств, которая для некоторых препаратов достигает 100% [1, 2, 3].

Актуальность данной работы определяется экономическим ущербом, наносимым животноводству колибактериозной инфекцией, а также все возрастающим распространением у *E. coli* устойчивости к антибактериальным препаратам. С течением времени чувствительность конкретного возбудителя к антибиотикам может значительно изменяться, и этот факт обуславливает необходимость постоянного мониторинга уровня устойчивости *E. coli* к различным антибактериальным препаратам.

В представленной работе обобщены имеющиеся в литературе данные научных исследований динамики устойчивости *E. coli*, изолированных от разных видов сельскохозяйственных животных, к антибактериальным препаратам.

Антибиотикорезистентность – это способность микроорганизмов противостоять действию антимикробных средств, в том числе антибиотиков. С момента доказательства клинической значимости этого явления, которая была установлена Александром Флемингом еще в 1945 г., человечество прошло несколько этапов

восприятия данной проблемы: период 1945–1963 гг., в течение которого полагали, что постоянное развитие фармацевтической промышленности опередит развитие устойчивости к антибиотикам; эпоха с 1963 по 1981 г. связана с открытием возможности передачи генов устойчивости через плазмиды и вследствие этого появлением обеспокоенности данным фактом; с 1981 по 1992 г. некоторые ученые стали рассматривать антибиотикорезистентность как глобальную проблему; в 1992–2013 гг. она стала привлекать все большее внимание специалистов, а также началось финансирование проектов, направленных на сдерживание распространения устойчивости; с 2013 г. по настоящее время проблема антибиотикорезистентности продолжает расти в связи с появлением у микроорганизмов все новых генов и механизмов защиты от антибиотиков и все большим распространением их среди популяций [4, 5].

В последнее время все большее значение в терапии бактериальных болезней приобретают альтернативные средства: бактериофаги, пробиотики, фитобиотики и антимикробные пептиды. Однако антибактериальные препараты все еще весьма широко применяются для лечения в животноводстве и птицеводстве. Кроме того, они используются в целях профилактики заболеваний и стимулирования продуктивности, что является причиной формирования и накопления у представителей рода *Escherichia* генетических детерминант резистентности к антибиотикам. Это, в свою очередь, приводит к распространению устойчивости и контаминации сырья и продукции [6, 7].

Целью настоящей работы было обобщение данных научной литературы о тенденциях в устойчивости *E. coli* к антибактериальным препаратам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводили путем анализа и систематизации литературных данных, содержащих информацию об антибиотикорезистентности различных штаммов *E. coli*, выделенных из патологического и биологического материала домашних и сельскохозяйственных животных и птицы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 2011 г. Н. Н. Шкиль представил результаты исследования 21 пробы патологического и биологического материала от абортированных и мертворожденных

плодов телят, 71 пробы – от телят профилактического периода, 67 проб – от телят в возрасте от 10 сут до 1 мес., 47 проб – от 1–3-месячных телят, 18 проб – от телят старше 3 мес. В 32% случаев была выделена патогенная микрофлора от животных, имеющих клинические признаки заболеваний желудочно-кишечного тракта, при этом респираторный синдром отмечали у 68% телят. Микроорганизмы рода *Escherichia* были обнаружены в 38% проб. Исследования по выявлению возбудителей проводили ежегодно в период с 2001 по 2010 г. Как установлено автором, в 2001 г. 50% выделенных представителей рода *Escherichia* проявляли высокую чувствительность к аминогликозидам. В последующие годы отмечено увеличение чувствительности к препаратам хинолонового/фторхинолонового ряда, которое достигло пика в 2006 г. (66%). К 2007 г. эти показатели сравнялись с аминогликозидами, а в 2009 и 2010 гг. чувствительность к препаратам аминогликозидного ряда была значительно выше (50%), чем к фторхинолонам (15%). Автор отмечает, что чаще всего рост чувствительности к одной группе препаратов соответствует ее падению к другой группе в этот же год. Кроме того, в изменчивости данного показателя прослеживается волнообразный характер: повышенная чувствительность, которая наблюдается на протяжении нескольких лет, затем сменяется понижением этого показателя в течение следующих лет [8]. Данная группа микроорганизмов, по-видимому, обладает высоко развитым механизмом формирования антибиотикорезистентности по отношению к препаратам группы фторхинолонов. Антисмысловая РНК, которая является продуктом положительной модуляции транскрипции, вызванной геном *micF*, осуществляет ингибирование синтеза пориновых белков на уровне трансляции, что положительно отражается на содержании в клетках сигма-фактора множественной стрессорной устойчивости σ^S . Этим обусловлены наиболее значительные колебания показателей резистентности у *E. coli* [9].

Горковенко Н. Е. и Макаров Ю. А. при изучении динамики изменения чувствительности к антимикробным препаратам штаммов *E. coli*, выделенных от больных телят, в 2006 г. у 6,5% изолятов выявили устойчивость к энрофлоксацину, к 2007 г. их доля увеличилась до 36,4%, а в 2010 г. достигла 90,0%. Число резистентных к полимиксину изолятов *E. coli* в 2006 г. составило 23,3%, а в 2010 г. – 75,0%, к неомицину в 2006 и 2010 гг. – 64,0 и 81,8% соответственно. Таким образом, наблюдается выраженное увеличение распространения устойчивости к энрофлоксацину, полимиксину и неомицину, что определяет значительное снижение терапевтической эффективности этих препаратов. Индифферентность к тетрациклину в 2006–2008 гг. составляла приблизительно 70%, в 2009 г. она снизилась до 60%, а в 2010 г. достигла 100%. Резистентность к левомицетину в 2006 и 2007 гг. была на уровне 60 и 55% соответственно; в 2008–2009 гг. выросла до 80%, а затем значительно снизилась. К стрептомицину и канамицину резистентность возрастала с 2006 по 2008 г., после чего в 2009 г. наблюдалось ее снижение, а в 2010 г. она достигла 100% для обоих препаратов.

Аналогично предыдущему исследованию приведенные данные указывают на волнообразность изменения устойчивости к антибактериальным препаратам, хотя в целом она продолжает возрастать, что в конечном итоге приводит к абсолютной резистентности и полной

потере терапевтической эффективности соответствующих лекарственных средств [10].

Результаты исследований, представленные Д. А. Желябовской и соавт. в 2017 г., позволяют сделать вывод о том, что 71,4% исследованных штаммов *E. coli* (O15, O18, O26), выделенных из кишечника новорожденных телят, обладают полирезистентностью. Данные культуры проявили устойчивость в отношении эритромицина (95,2%), тетрациклина и пенициллина (90,5%), канамицина (85,7%), ампициллина (76,2%), стрептомицина и гентамицина (71,4%) [11].

По результатам проведенного Н. М. Аль-Хаммашем и А. В. Игнатенко анализа антибиотикорезистентности штаммов *E. coli*, выделенных на молочно-товарной ферме, видно, что большее количество изолятов проявили устойчивость к бензилпенициллину (94%), эритромицину (94%), линкомицину (94%), тетрациклину (83%), ампициллину (61%), неомицину (56%), левомицетину (44%), пефлоксацину (37%), полимиксину (33%), цефалексину (28%). Промежуточной чувствительностью микроорганизмы обладали к неомицину (55%), полимиксину (50%), к фурадонину (27%), левомицетину (16%), канамицину (14%). Чувствительны они оказались к следующим антибактериальным препаратам: гентамицину (83%), канамицину (78%), цефалексину (74%), фурадонину (72%), пефлоксацину (62%), левомицетину (39%), неомицину (39%), ампициллину (33%). Изоляты проявили 100%-ю чувствительность лишь в отношении цефтриаксона, в то время как абсолютная устойчивость наблюдалась к олеандомицину, клиндамицину и оксациллину [12].

В исследовательской работе С. Н. Золотухина и соавт. к гентамицину чувствительность проявили 34,8% изолятов *E. coli*, устойчивость – 34,2%, умеренную устойчивость – 31,5%. Ампициллин проявил активность в отношении 57,8% изолятов *E. coli*, 27,3% оказались устойчивы к нему, а 14,4% проявили умеренную устойчивость. Наибольшая чувствительность выявлена к цефтриаксону (84,7%), ципрофлоксацину (74,2%) и левомицетину (60,6%). Результаты исследований показали, что ни один антибиотик не ингибирует рост микроорганизмов на 100%. Большинство штаммов полирезистентны к эритромицину, левомицетину, стрептомицину, тетрациклину, неомицину, ампициллину, гентамицину, пенициллину [13].

В период с 2016 по 2020 г. М. Е. Остякова и И. С. Шульга изучали особенности энтеробиоценоза новорожденных телят при массовых желудочно-кишечных заболеваниях. В процессе выполнения данной работы был проведен анализ резистентности штаммов *E. coli* к некоторым антибактериальным препаратам. Результаты исследования представлены следующим образом: изоляты проявляли резистентность к бензилпенициллину, офлоксацину, ципрофлоксацину и эритромицину. Это позволяет говорить о множественной антибиотикорезистентности выделенных штаммов. При этом 91,7% изолятов оказались чувствительны к полимиксину, 70,6% – к цефазолину, 65,5% – к стрептомицину, 62,5% – к амоксициллину в сочетании с клавулановой кислотой. Следовательно, данные антибиотики являются препаратами выбора при лечении кишечной инфекции, вызванной *E. coli* [14].

При идентификации патотипов и генов антибиотикорезистентности музейных штаммов диареогенных *E. coli* Ю. И. Поболеловой и С. П. Яценюк энтеропатогенная

кишечная палочка оказалась самым распространенным патотипом – частота его встречаемости составила 29% относительно остальных патотипов. Определение проводилось по фрагментам детерминант устойчивости микроорганизмов к β -лактамам антибиотикам (гены *blaTEM*, *blaSHV*), флорфениколу (*floR*), хлорамфениколу (*cat1*, *cmlA*), стрептомицину (ген *aadA1*), гентамицину (ген *aac3-IV*). Среди исследованных штаммов у 36% были идентифицированы гены резистентности хотя бы к одному из исследованных антибиотиков, а в 5 случаях была обнаружена устойчивость одновременно к двум антибиотикам: у 2 штаммов – к хлорамфениколу и стрептомицину, еще у 2 – к стрептомицину и флорфениколу и у 1 штамма – к хлорамфениколу и флорфениколу. В общей сложности гены устойчивости к хлорамфениколу *cat1* и *cmlA* были идентифицированы у 3 и 4 штаммов соответственно; ген устойчивости к стрептомицину *aadA1* выявлен у 17 штаммов, к флорфениколу *floR* – у 4 штаммов. Гены резистентности к гентамицину и β -лактамам обнаружены не были [15].

Исследователи А. А. Голикова и О. А. Манжурина проводили эксперименты по определению чувствительности штаммов *E. coli*, выделенных от телят с колибактериозом, к 16 антибактериальным препаратам различных фармакологических групп. Авторами установлено наличие чувствительности штамма *E. coli* O20 по отношению к следующим антибиотикам: ампициллину, амоксициллину, тетрациклину, левомицетину, гентамицину, полимиксину, норфлоксацину, энрофлоксацину и стрептомицину. Штамм O33 проявил чувствительность к тем же препаратам, что и O22, за исключением резистентности к гентамицину и стрептомицину и чувствительности к фуразолидону и фурадонину. *E. coli* O137 показал восприимчивость к ампициллину, амоксициллину, тетрациклину, левомицетину, гентамицину, полимиксину, фуразолидону, фурадонину, норфлоксацину, энрофлоксацину и стрептомицину [16].

По данным, приведенным Е. А. Сазоновой, в 2020–2022 гг. у штаммов *E. coli* наблюдалась тенденция к развитию множественной лекарственной устойчивости к цефалоспорином I поколения, пенициллинам, тетрациклинам, макролидам, линкозамидам, сульфаниламидам, а также к стрептомицину. Резистентность к антибактериальным препаратам определялась для серовариантов O2, O78, O115, O126, O15, O18, O119, O33, O41, O101, O137, O157:H7, выделенных при колибактериозе свиней.

При этом резистентность эшерихий к различным антибактериальным препаратам изменялась следующим образом: к цефалексину в 2020 г. составляла 44,0%, в 2021 г. – 71,4%, в 2022 г. – 100,0%; к цефазолину в 2020 г. – 29,1%, в 2021 г. – 50,0%, в 2022 г. – 31,5%; к цефтриаксону – 6,9, 14,3, 15,3%; к амоксициллину – 73,7, 50,0, 48,7%; к ампициллину – 73,7, 78,7, 81,3%; к тетрациклину – 80,5, 57,1, 64,3%; к доксициклину – 84,5, 100,0, 99,1%; к стрептомицину – 30,9, 71,4, 72,5%; к эритромицину – 83,4, 100,0, 92,3%; к рифампицину – 85,7, 92,8, 91,3%; к норфлоксацину – 11,4, 7,1, 10,6%; к энрофлоксацину – 18,3, 7,4, 2,3%; к ципрофлоксацину – 10,3, 7,2, 11,3% в 2020, 2021 и 2022 г. соответственно. Из приведенных данных видно, что среди *E. coli* широко распространены резистентные к антибиотикам штаммы. При этом устойчивость к антибактериальным препаратам со временем лишь растет, в некоторых случаях (напри-

мер, к цефалексину, доксициклину, эритромицину) достигая 100% [17].

По результатам исследования антибиотикорезистентности штаммов *E. coli* K99:O141, F41:O26, F41, K88:O157, выделенных из патологического материала от телят и поросят с признаками заболеваний желудочно-кишечного тракта, А. С. Тищенко и соавт. сделали вывод, что данные изоляты проявляют резистентность к большинству антибиотиков, применяемых в ветеринарной практике: амоксиклаву, тетрациклину, гентамицину, оксациллину, азитромицину, цефтазидиму. Наибольшей антибактериальной активностью обладают препараты класса фторхинолонов (ципрофлоксацин и пефлоксацин), однако даже к ним наблюдается промежуточная устойчивость, что снижает ценность данных антибиотиков. Наименьшую активность проявили амоксилав, оксациллин, гентамицин и азитромицин [18].

По данным И. Н. Ждановой и соавт., в хозяйствах Пермского края в 2020–2021 гг. от телят и взрослого поголовья крупного рогатого скота были выделены штаммы *E. coli* O8, O15, O20, O101, O115, O157. Среди этих штаммов обнаружили устойчивость к ампициллину и цефазолину (по 61,5%), а также высокую резистентность к цефтриаксону (23,1%), цефокситину (30,7%), хлорамфениколу (61,5%) и тетрациклину (79,5%). Наиболее чувствительны изолированные культуры оказались к имипенему и тобрамицину (100%), меропенему (97,4%), амикацину и моксифлоксацину (92,3%) [19].

В рамках работы С. А. Макавчик и А. А. Сухинина за период с 2021 по 2022 г. проводилось исследование микроорганизмов, выделенных из молока больных маститом коров. Культуры *E. coli* характеризовались чувствительностью к неомицину и карбапенемам (100%), а также резистентностью в отношении цефалексина (75%), тетрациклина (30%), цефотаксима (30%), гентамицина (14%) и ципрофлоксацина (7%). Полученные данные подтверждают тенденцию к стремительному увеличению резистентности к препаратам классов цефалоспоринов, тетрациклинов и аминогликозидов [20].

Как показали результаты исследований, проведенные А. С. Локтевой и соавт., штаммы *E. coli* O141 и O33, изолированные в 2017–2022 гг. из патологического материала трупов свиней, оказались панрезистентны. Полирезистентность патогенных культур наблюдалась более чем в 90% случаев, причем на таком высоком уровне она находилась в течение всего указанного периода времени [21].

Приведенные в статье И. М. Донник материалы демонстрируют, что большинство изолятов бактерий, выделенных из образцов цервикальных соскобов, секрета молочной железы, смывов носовой и ротовой полостей животных, образцов, взятых с контактных поверхностей и оборудования, а также навоза и кормов, обладали резистентными свойствами к действию антибактериальных препаратов. Эшерихии оказались устойчивы к рифампицину, полусинтетическим пенициллинам и тетрациклинам (64–67%), низкая чувствительность к 3–5 антибиотикам разных классов наблюдалась приблизительно у 44% изолятов, из них 28% – к цефалоспорином III поколения: цефтриаксону, цефотаксиму. Высокую чувствительность бактерии показали в отношении фторхинолонов: к ципрофлоксацину, энрофлоксацину, офлоксацину (82%) [22].

Кочкина Е. Е. и Морозова Н. В. изучали резистентность изолятов *E. coli*, выделенных от кошек при заболеваниях мочеполовой системы. В ходе исследования было установлено, что максимальное число изолятов ($71 \pm 10,7\%$) проявили чувствительность к цефалоспоринам. К синтетическим пенициллинам умеренная резистентность составила $66 \pm 11,1\%$, к аминогликозидам – $83,3 \pm 8,8\%$. К последним двум классам препаратов наблюдалась также умеренная устойчивость, а к макролидам и фторхинолонам – резистентность. Чувствительность штаммов к отдельным антибиотикам представлена следующим образом: все изученные культуры чувствительны к цефепиму, $83,3 \pm 8,8\%$ культур – к цефтриаксону и цефазолину, также $83,3 \pm 8,8\%$ изолятов оказались умеренно резистентны в отношении цефотаксима, энрофлоксацина и гентамицина, а $66,7 \pm 11,1\%$ – амоксицилава, $50 \pm 11,8\%$ – ципрофлоксацина, по $16,7 \pm 8,8\%$ – в отношении цефтриаксона и цефазолина. Авторами сообщается о наличии абсолютной резистентности к тилозину [23].

При оценке антибиотикорезистентности перед применением антибактериальных препаратов Н. Н. Музыка и А. В. Белецкая выделили *E. coli* от различных видов птиц. Полученные изоляты проявили чувствительность к гентамицину (19,0%), флорфениколу (16,6%), энрофлоксацину (14,3%), спектомицину (14,3%), норфлоксацину (7,1%), триметоприму (4,7%), тилмикозину (4,7%), доксициклину (2,4%) и линкомицину (2,4%). Умеренная чувствительность наблюдалась в отношении тилмикозина (11,9%), доксициклина, флорфеникола, норфлоксацина и спектиномицина (по 4,7%), триметоприма, линкомицина и гентамицина (по 2,4%). Таким образом, общий процент чувствительности к антибактериальным препаратам не превышал 20% [24].

В 2023 г. А. С. Кривоноговой и соавт. была опубликована работа «Антибиотикорезистентность *Enterobacteriaceae* в микробиомах цыплят-бройлеров». В ходе данного исследования для стандартного штамма *E. coli* (ATCC 25922) была установлена минимальная подавляющая концентрация по отношению к таким препаратам, как ципрофлоксацин, меропенем, цефепим и ампициллин. Контрольные штаммы выращивали 37 сут, этот период времени соответствует сроку содержания бройлеров в условиях промышленных комплексов с момента вывода до убоя. В результате исследования стало известно, что к штамму ATCC 25922 *E. coli* антибактериальную активность проявляет ципрофлоксацин в минимальной подавляющей концентрации 0,06–0,12 мг/л, меропенем (0,12 мг/л), ампициллин (2–4 мг/л), а также цефепим (0,5 мг/л). В данных условиях антибиотикорезистентность не наблюдали, поскольку использованные в опыте эшерихии не имели в геноме активных детерминант резистентности, а ввиду отсутствия контактов с другими микроорганизмами горизонтальный перенос генов не происходил.

Также в рамках исследования было проведено изучение чувствительности к антибактериальным препаратам микрофлоры, изолированной из смывов с клоаки цыплят и подстилки на разных этапах выращивания птицы. В данном случае выявлена чувствительность всех изолятов *E. coli* к ампициллину и ципрофлоксацину в минимальной подавляющей концентрации 2,0–4,0 и 0,06–0,12 мг/л соответственно. Меропенем проявил активность в минимальной подавляющей концентрации 0,06 мг/л в отношении 74% изолятов, а в минимальной подавляющей концентрации 0,12 мг/л к нему

оказались восприимчивы все изоляты. К цефепиму в минимальной подавляющей концентрации 0,125 мг/л были резистентны 50% изолятов, тогда как к минимальной подавляющей концентрации 0,5 мг/л восприимчивы оказались 100% изолятов [25].

Как видно из результатов, недостаточная концентрация действующего вещества антибиотиков активных групп приводит к сохранению возбудителя и развитию лекарственной устойчивости с вертикальным переносом генома. Данные исследования показали, что и к карбапенемам развивается антибиотикорезистентность, что определяет критический статус потенциальных возможностей терапии и метапрофилактики заболевания, вызванного патогенными серотипами *E. coli*.

Группой авторов проводилось изучение антибиотикочувствительности патогенных культур кишечной палочки, циркулирующих на промышленной птицефабрике в Омской области. Из проб патологического материала, полученного от кур и цыплят разных возрастов, в течение 2018 г. были изолированы сероварианты O37, O115 и O2 *E. coli*. У данной микрофлоры установлена 100%-я чувствительность к препаратам группы фторхинолонов в составе комплексных препаратов «Трифлон» и «Энрофлон К». В то же время штаммы проявили абсолютную резистентность к тетрациклину, а также большинство штаммов оказались устойчивы в отношении тилозина, гентамицина, доксициклина и левомицетина [26].

Исакова М. Н. и соавт. изучали 127 изолятов *E. coli*, выделенных из секрета молочной железы и цервикальных смывов, отобранных от крупного рогатого скота. Исследование выявило широкое распространение изолятов, обладающих фенотипической устойчивостью к рифампицину, полусинтетическим пенициллинам и тетрациклинам. К азитромицину, левомицетину и тобрамицину культуры продемонстрировали меньший уровень резистентности. У 28,46% изолятов была выявлена промежуточная резистентность к цефалоспоринам III поколения и у 49,02% – ген устойчивости к данной группе препаратов (*bla*DHA) [27].

В 2023 г. М. С. Алексюк и соавт. проводили мониторинг антибиотикорезистентности *E. coli* на территории Республики Казахстан. На протяжении 3 мес. в Алматинской области на частных фермах производили сбор образцов фекалий от телят с признаками эшерихиоза. Из биологического материала было выделено 30 изолятов *E. coli*, из которых 6 предположительно относились к O157:H7. Согласно результатам исследования, ко всем группам антибактериальных препаратов оказались чувствительны только 4 изолята, 7 изолятов продемонстрировали резистентность к одному антибиотику, большинство же обладали множественной лекарственной устойчивостью (нечувствительны к трем и более группам). К 7 группам препаратов проявили резистентность 5 изолятов, а один из изолятов оказался устойчив ко всем 8 классам антибиотиков. Больше всего изолятов продемонстрировали устойчивость к ампициллину, тетрациклину, гентамицину, флорфениколу и триметоприму. Чуть реже встречалась резистентность к энрофлоксацину и амоксициллину в сочетании с клавулановой кислотой. Почти все изоляты оказались чувствительны к колистину. Промежуточную устойчивость некоторые штаммы продемонстрировали в отношении гентамицина и комбинации амоксициллина с клавулановой кислотой [28].

В исследовании М. Ю. Сыромятникова и соавт. был проведен анализ генов антибиотикорезистентности *E. coli*, выделенной из кишечника 2–5-суточных поросят с диареей. С помощью биоинформатического анализа было идентифицировано 26 генов антибиотикорезистентности, среди них детерминирующие устойчивость к аминогликозидам: *Aac6-Aph2*, *Aac6-Ilf*, *StrA*, *StrB*; к β -лактамам антибиотикам: *AmpC1_Ecoli*; *OXA-10*, *OXA-14*, *OXA-16*, *Penicillin_Binding_Protein_Ecoli*, *TEM-143*, *TEM-166*, *TEM-215*, *TEM-76*, *TEM-95*; к хинолонам: *QnrB19*, *QnrB5*, *QnrD*, *QnrVC4*; к сульфаниламидам: *SulI*; к тетрациклинам: *TetD*; к триметоприму: *DfrA1*, *DfrA14*, *DfrA27*; к фениколам: *CmlA5*, *CmlA1*; *FloR*. Среди 4 детектированных разнообразнейших генов резистентности к хинолонам доминирующим оказался *QnrD* – почти 60% относительно остальных генов данной выборки. Штаммы *E. coli*, в которых содержится плазмида с этим геном, вероятно, обладают устойчивостью к большинству используемых в ветеринарии антибиотиков. Среди 10 идентифицированных генов резистентности к β -лактамам наибольшей обильностью характеризовался *Penicillin_Binding_Protein_Ecoli* (24%). Распространенность *OXA-16* составляла 9%, *AmpC1_Ecoli* – 15%, *OXA-10* – 12%, *OXA-14* – 11%. Встречаемость генов *TEM-143*, *TEM-166*, *TEM-76* и *TEM-95* в сумме была 6% и только 1% прочтений приходилось на *TEM-215*. Среди генов устойчивости к фениколам наибольшей частотой встречаемости обладали *CmlA5* (52%) и *CmlA1* (44%). Самой распространенной детерминантой устойчивости к триметоприму оказался ген *DfrA14* (64%). Среди генов, ассоциированных с аминогликозидами, наиболее распространенными были *StrA* (35%) и *StrB* (31%). Гены устойчивости к тетрациклинам и сульфаниламидам вместе составили 3% относительной обильности. Для остальных последовательностей процентное соотношение каждой отдельной группы не превышало 10%, а относительное содержание генов устойчивости по отношению к тетрациклинам, аминогликозидам и сульфаниламидам было менее 1% [29].

Таким образом, высокопроизводительное секвенирование показало, что наиболее распространенным оказался ген *QnrD*, детерминирующий устойчивость к хинолонам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из представленных выше литературных данных видно, что резистентность *E. coli* чаще проявляется к β -лактамам антибактериальным препаратам (особенно к бензилпенициллину, пенициллину и цефалексину), аминогликозидам (в основном к стрептомицину, гентамицину), а также тетрациклинам, макролидам (эритромицину) и линкозамидам (линкомицину). Практически во всех исследованиях *E. coli* проявляет полирезистентность, то есть устойчивость к двум и более препаратам, а в некоторых случаях и мультирезистентность (устойчивость по крайней мере к одному препарату из трех и более групп).

Тем не менее результаты антибиотикограммы значительно разнятся от исследования к исследованию. Это объясняется распространением в микробиоценозе каждого отдельного животноводческого хозяйства определенных механизмов антибиотикорезистентности. Набор этих механизмов является индивидуальным для популяций *E. coli* на каждом предприятии и опре-

деляется серовариантами микроорганизма, ассортиментом используемых антибактериальных препаратов и режимом их применения, наличием детерминант устойчивости в объектах окружающей среды, качеством проводимой дезинфекции (поскольку субингибирующие концентрации дезинфицирующих средств оказывают на микроорганизмы агрессивное воздействие и запускают процессы адаптации). Эти факторы обуславливают формирование определенного набора генов антибиотикорезистентности, циркулирующих среди микроорганизмов данного хозяйства, развитие у них фенотипической устойчивости (образование биопленок и явление персистенции), а также адаптивной резистентности (временного повышения выживаемости в условиях воздействия лекарственных веществ). В этом заключается одна из ведущих проблем терапии заболеваний, вызванных данным микроорганизмом, поскольку все труднее становится сделать оптимальный выбор антибактериального препарата.

Таким образом, обобщение имеющихся в литературе сведений позволило охарактеризовать наиболее явные тенденции устойчивости *E. coli* к антибактериальным препаратам, а также подтвердило, что антибиотикорезистентность является неуклонно растущей проблемой животноводства. В связи с этим необходим постоянный мониторинг динамики чувствительности микроорганизмов как внутри каждого отдельного предприятия, так и в объектах окружающей среды, прилегающих к местам содержания сельскохозяйственных животных. Отслеживание тенденций в антибиотикочувствительности позволит актуализировать рекомендации по антибактериальной терапии заболеваний животных, вызываемых видом *E. coli*. Кроме того, важно продолжать поиск, разработку и внедрение в практику альтернативных методов терапии инфекционных заболеваний, исключающих применение антибактериальных препаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Robins-Browne R. M., Holt K. E., Ingle D. J., Hocking D. M., Yang J., Tauschek M. Are *Escherichia coli* pathotypes still relevant in the era of whole-genome sequencing? *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2016; 6:141. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2016.00141>
- Панин А. Н., Комаров А. А., Куликовский А. В., Макаров Д. А. Проблема резистентности к антибиотикам возбудителей болезней, общих для человека и животных. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2017; (5): 18–24. <https://elibrary.ru/ytvinj>
- Бабкова Е. А., Юняева Н. В. Терапия цыплят-бройлеров при колибактериозе в современном промышленном птицеводстве. *Ветеринария*. 2017; (9): 23–25. <https://elibrary.ru/zmmivb>
- Podolsky S. H. The evolving response to antibiotic resistance (1945–2018). *Palgrave Communications*. 2018; (4):124. <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0181-x>
- Захарова О. И., Лискова Е. А., Михалева Т. В., Блохин А. А. Антибиотикорезистентность: эволюционные предпосылки, механизмы, последствия. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018; (3): 13–21. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.13-21>
- Солодовникова А. С., Сибен А. Н. Резистентности бактерий к антибиотикам в животноводстве. *Интеграция науки и образования в аграрных вузах для обеспечения продовольственной безопасности России: сборник трудов национальной научно-практической конференции (Тюмень, 1–3 ноября 2022 г.)*. Тюмень: ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья; 2022; 173–177. <https://elibrary.ru/vhlmqj>
- Герасимова А. О., Новикова О. Б., Савичева А. А. Колибактериоз птиц – актуальные вопросы. *Ветеринария сегодня*. 2023; 12 (4): 284–292. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2023-12-4-284-292>
- Шкиль Н. Н. Динамика изменения антибиотикочувствительности у возбудителей заболеваний молодняка крупного рогатого скота. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2011; (8). <http://ej.kubagro.ru/2011/08/pdf/42.pdf>

9. Ткаченко А. Г., Пожидаева О. Н., Шумков М. С. Роль полиаминов в формировании множественной антибиотикоустойчивости *Escherichia coli* в условиях стрессорных воздействий. *Биохимия*. 2006; 71 (9): 1287–1296. <https://biochemistry.moscow.com/ru/archive/2006/71-09-1287>

10. Горковенко Н. Е., Макаров Ю. А. Мониторинг антибиотикорезистентности энтеробактерий. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2018; (3). <https://doi.org/10.21515/1990-4665-137-032>

11. Желябовская Д. А., Остякова М. Е., Почтарь В. А., Лаврушина Л. А., Коноплев В. А., Горбачева И. Е. Антибиотикочувствительность и антибиотикорезистентность патогенных и условно-патогенных энтеробактерий, выделенных из кишечника новорожденных телят. *Вестник КрасГАУ*. 2017; (11): 27–33. <https://elibrary.ru/zxfkqp>

12. Аль-Хаммаш Н. М., Игнатенко А. В. Анализ антибиотикорезистентности микроорганизмов *E. coli*. *Труды БГУ*. 2012; (4): 173–175. <https://elibrary.ru/snmksx>

13. Золотухин С. Н., Мелехин А. С., Пименов Н. В. Чувствительность условно-патогенных энтеробактерий к антибиотикам и производственным штаммам бактериофагов. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2016; (2): 87–91. <https://elibrary.ru/wezysv>

14. Остякова М. Е., Шульга И. С. Особенности энтеробиоценоза новорожденных телят при массовых желудочно-кишечных заболеваниях. *Вестник ДВО РАН*. 2022; (2): 121–130. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_11

15. Поболелова Ю. И., Яцентюк С. П. Идентификация патогенов и генов антибиотикорезистентности музейных штаммов диарейных *E. coli*. *Труды ВИЭВ*. 2018; 80 (1): 284–290. <https://elibrary.ru/yqpajj>

16. Голикова А. А., Манжурина О. А. Изучение чувствительности возбудителя колибактериоза телят к антибактериальным препаратам различных фармакологических групп. *Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов (Воронеж, 12–13 ноября 2020 г.)*. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ; 2020; 65–68. <https://elibrary.ru/dviihk>

17. Сазонова Е. А. Эпизоотологические аспекты, профилактика и эффективность противомикробных препаратов при колибактериозе свиней. *Ветеринария Северного Кавказа*. 2023; (8): 149–154. <https://elibrary.ru/frbpbsh>

18. Тищенко А. С., Коцаев А. Г., Яковенко П. П., Волостнова А. А., Терехов В. И. Проблемы антибиотикотерапии энтеротоксигенного эшерихиоза телят и поросят и пути их решения. *Ветеринария Кубани*. 2022; (3): 8–11. <https://elibrary.ru/cwlqdc>

19. Жданова И. Н., Мокрушин В. В., Кузнецова М. В. Колибактериоз крупного рогатого скота в Пермском крае: распространенность, источники возбудителя и его биологические особенности. *Сельскохозяйственная биология*. 2022; 57 (4): 776–790. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.4.776rus>

20. Макавич С. А., Сухинин А. А. Ветеринарный мониторинг антибиотикорезистентности энтеробактерий как инструмент обеспечения инфекционной безопасности. *Микробиология военной медицины и здравоохранению. Современные технологии: наука, практика, инновации: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня основания кафедры микробиологии Военно-медицинской академии имени С. М. Кирова (Санкт-Петербург, 11–12 мая 2023 г.)*. СПб.: ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова»; 2023; 94–96. <https://elibrary.ru/ndojsy>

21. Локтева А. С., Плешакова В. И., Лоренгель Т. И. Мониторинг антибиотикорезистентности энтеробактерий, выделенных от продуктивных животных Омской области. *Прикаспийский международный молодежный научный форум агропротехнологий и продовольственной безопасности 2023: материалы (Астрахань, 27–28 апреля 2023 г.)*. Астрахань: Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева; 2023; 69–72. <https://elibrary.ru/fyuaaid>

22. Донник И. Антибиотикорезистентность: актуальность возрастает. *Животноводство России*. 2022; (4): 27–28. <https://doi.org/10.25701/ZR.2022.04.04.010>

23. Кочкина Е. Е., Морозова Н. В. Антибиотикорезистентность штаммов *Escherichia coli*, выделенных при заболеваниях мочевыделительной системы у кошек. *Молодежная наука – развитию агропротехнологического комплекса: материалы III Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Курск, 15 ноября 2022 г.)*. Ч. 1. Курск: ФГБОУ ВО Курская ГСХА; 2023; 381–386. <https://elibrary.ru/irfinl>

24. Музыка Н. Н., Белецкая А. В. Оценка антибиотикорезистентности перед применением антимикробных препаратов у птицы. *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства*. 2020; 23 (2): 183–189. <https://elibrary.ru/zuwsdo>

25. Кривоногова А. С., Донник И. М., Исаева А. Г., Логинов Е. А., Петропавловский М. В., Беспмятных 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>

26. Лоренгель Т. И., Лещёва Н. А., Осташенко А. Р., Плешакова В. И. Антибиотикочувствительность патогенных культур кишечной палочки, циркулирующих на промышленной птицефабрике Омской области. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2019; (4): 122–127. <https://elibrary.ru/jatbfq>

27. Исакова М. Н., Соколова О. В., Безбородова Н. А., Кривоногова А. С., Исаева А. Г., Зубарева В. Д. Антибиотикорезистентность клинических изолятов *Escherichia coli*, выделенных от животных. *Ветеринария сегодня*. 2022; 11 (1): 14–19. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-1-14-19>

28. Алексюк М. С., Манакбаева А. Н., Молдаханов Е. С., Аканова К. С., Имангазы А. С., Алексюк П. Г., Богоявленский А. П. Распространение антибиотикоустойчивости у штаммов *Escherichia coli*, изолированных от телят с признаками колибактериоза. *Наука и образование*. 2024; (2-1): 126–140. <https://elibrary.ru/igrpib>

29. Сыромятников М. Ю., Шабунин С. В., Нестерова Е. Ю., Гладких М. И., Буракова И. Ю., Смирнова Ю. Д. и др. Анализ генов антибиотикорезистентности *Escherichia coli* из кишечника поросят с диареей. *Ученые записки УО ВГАВМ*. 2024; 60 (2): 95–100. <https://doi.org/10.52368/2078-0109-2024-60-2-95-100>

REFERENCES

1. Robins-Browne R. M., Holt K. E., Ingle D. J., Hocking D. M., Yang J., Tauschek M. Are *Escherichia coli* pathotypes still relevant in the era of whole-genome sequencing? *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2016; 6:141. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2016.00141>

2. Panin A. N., Komarov A. A., Kulikovskiy A. V., Makarov D. A. Problem of antimicrobial resistance of zoonotic bacteria. *Veterinariya, Zootekhniya i Biotekhnologiya*. 2017; (5): 18–24. <https://elibrary.ru/vtynjv> (in Russ.)

3. Babkova E. A., Yunyaeva N. V. Therapy of colibacteriosis in broiler chickens in modern industrial poultry farming. *Veterinariya*. 2017; (9): 23–25. <https://elibrary.ru/zmmivb> (in Russ.)

4. Podolsky S. H. The evolving response to antibiotic resistance (1945–2018). *Palgrave Communications*. 2018; (4):124. <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0181-x>

5. Zakharova O. I., Liskova E. A., Mikhaleva T. V., Blokhin A. A. Antibiotic resistance: evolutionary prerequisites, mechanisms, consequences. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2018; (3): 13–21. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.13-21> (in Russ.)

6. Solodovnikova A. S., Siben A. N. Bacterial resistance to antibiotics in animal husbandry. *Integratsiya nauki i obrazovaniya v agrarnykh vuzakh dlya obespecheniya prodovol'stvennoi bezopasnosti Rossii: sbornik trudov natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Tyumen', 1–3 noyabrya 2022 g.) = Integration of science and education in the agricultural higher education institutions to ensure food security in Russia: proceedings of the National Scientific and Practical Conference (Tyumen, 1–3 November 2022)*. Tyumen: Northern Trans-Ural State Agricultural University; 2022; 173–177. <https://www.elibrary.ru/vhlmqq> (in Russ.)

7. Gerasimova A. O., Novikova O. B., Savicheva A. A. Avian colibacillosis – current aspects. *Veterinary Science Today*. 2023; 12 (4): 284–292. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2023-12-4-284-292>

8. Shkil N. N. Dynamic changes of antibiotic sensitive agents of diseases of calfs. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2011; (8). <http://ej.kubagro.ru/2011/08/pdf/42.pdf> (in Russ.)

9. Tkachenko A. G., Pozhidaeva O. N., Shumkov M. S. Role of polyamines in formation of multiple antibiotic resistance of *Escherichia coli* under stress conditions. *Biochemistry (Moscow)*. 2006; 71 (9): 1042–1049. <https://doi.org/10.1134/S0006297906090148>

10. Gorkovenko N. E., Makarov Yu. A. Monitoring of antibiotic resistance of *Enterobacteria*. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2018; (3). <https://doi.org/10.21515/1990-4665-137-032> (in Russ.)

11. Zhelyabovskaya D. A., Ostyakova M. E., Pochtar V. A., Lavrushina L. A., Konoplyov V. A., Gorbachyova I. E. Antibiotic sensitivity and antibiotic resistance of pathogenic and conditionally pathogenic *Enterobacteria* allocated from the intestines of newborn calves. *Bulletin of KrasSAU*. 2017; (11): 27–33. <https://elibrary.ru/zxfkqp> (in Russ.)

12. Al-Hammash N. M., Ignatenko A. V. Analysis of antibiotic resistance of *E. coli* microorganisms. *Proceedings of BSTU*. 2012; (4): 173–175. <https://elibrary.ru/snmksx> (in Russ.)

13. Zolotukhin S. N., Melekhin A. S., Pimenov N. V. Sensitivity of potentially pathogenic *Enterobacteria* to antibiotics and master seed strains of bacteriophages. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2016; (2): 87–91. <https://elibrary.ru/wezysv> (in Russ.)

14. Ostyakova M. E., Shul'ga I. S. Peculiarities of enterobiosenosis of newborn calves in the case of mass gastrointestinal diseases. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022; (2): 121–130. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_11 (in Russ.)
15. Pobolelova Yu. I., Yatsentyuk S. P. Identification of patotypes and antibiotic resistance genes of museum strains of diarrheagenic *E. coli*. *Trudi VIEV*. 2018; 80 (1): 284–290. <https://elibrary.ru/yqpalj> (in Russ.)
16. Golikova A. A., Manzhurina O. A. Izuchenie chuvstvitel'nosti vozбудitelya kolibakterioza tyelat k antibakterial'nym preparatam razlichnykh farmakologicheskikh grupp = Study of colibacillosis pathogen susceptibility to antibacterial drugs of different pharmacological classes. *Innovatsionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov (Voronezh, 12–13 noyabrya 2020 g.) = Innovative technologies and technical means for agricultural industry: proceedings of International Scientific and Practical Conference for Young Career Scientists and Specialists (Voronezh, 12–13 November 2020)*. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great; 2020; 65–68. <https://elibrary.ru/dvihik> (in Russ.)
17. Sazonova E. A. Epizootological aspects, prevention and effectiveness of antimicrobial drugs for colibacillosis in pigs. *Veterinariya Severnogo Kavkaza*. 2023; (8): 149–154. <https://elibrary.ru/frbpsh> (in Russ.)
18. Tishchenko A. S., Koshchayev A. G., Yakovenko P. P., Volostnova A. A., Terekhov V. I. Problems of antibiotic therapy of enterotoxigenic escherichiosis of calves and piglets and the ways of their solution. *Veterinariya Kubani*. 2022; (3): 8–11. <https://elibrary.ru/cwqlqdc> (in Russ.)
19. Zhdanova I. N., Mokrushin V. V., Kuznetsova M. V. Cattle colibacillosis in Perm krai: prevalence, sources of the causative agent and its biological characterization. *Agricultural Biology*. 2022; 57 (4): 776–790. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2022.4.776eng>
20. Makavchik S. A., Sukhinin A. A. Veterinary monitoring of antibiotic resistance of *Enterobacteriaceae* as a tool to ensure infection safety. *Mikrobiologiya voennoi meditsiny i zdravookhraneniya. Sovremennye tekhnologii: nauka, praktika, innovatsii: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu so dnya osnovaniya kafedry mikrobiologii VoЕННО-медИцинСкой академии имени С. М. КИрова (Санкт-Петербург, 11–12 мая 2023 г.) = Microbiology for military medicine and public health. Modern technologies: science, practice, innovations: proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference devoted to 100th Anniversary of Microbiology Char establishment in the Military medical academy named after S. M. Kirov (Saint Petersburg, 11–12 May, 2023)*. Saint Petersburg: Kirov Military Medical Academy; 2023; 94–96. <https://elibrary.ru/ndojsy> (in Russ.)
21. Lokteva A. S., Pleshakova V. I., Lorengel T. I. Monitoring of antibiotic resistance of *Enterobacteria* isolated from productive animals in the Omsk region. *Prikaspiiskii mezhdunarodnyi molodezhnyi nauchnyi forum agropromtekhologii i prodovol'stvennoi bezopasnosti 2023: materialy (Astrakhan', 27–28 aprelya 2023 g.) = Caspian International Youth Scientific Forum of Agricultural Technologies and Food Security 2023: proceedings (Astrakhan, 27–28 April, 2023)*. Astrakhan: Astrakhan State University; 2023; 69–72. <https://elibrary.ru/fyaaaid> (in Russ.)
22. Donnik I. Antibiotic resistance: becoming more relevant. *Animal Husbandry of Russia*. 2022; (4): 27–28. <https://doi.org/10.25701/ZZR.2022.04.04.010> (in Russ.)
23. Kochkina E. E., Morozova N. V. Antibiotic resistance of *Escherichia coli* strains isolated in diseases of the urinary system in cats. *Molodezhnaya nauka – razvitiyu agropromyshlennogo kompleksa: materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (Kursk, 15 noyabrya 2022 g.) = Youth Science for the Development of Agricultural Industry: proceedings of III International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Career Scientists (Kursk, 15 November 2022)*. Pt. 1. Kursk: Kursk State Agricultural I. I. Ivanov Academy; 2023; 381–386. <https://elibrary.ru/irfinl> (in Russ.)
24. Muzyka N. N., Beletskaya A. V. Otsenka antibiotikorezistentnosti pered primeneniem antimikrobnikh preparatov u ptitsy = Assessment of antimicrobial resistance before use of antimicrobials in poultry. *Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva*. 2020; 23 (2): 183–189. <https://elibrary.ru/zuwsdo> (in Russ.)
25. Krivonogova A. S., Donnik I. M., Isaeva A. G., Loginov E. A., Petropavlovskiy M. V., Bepamyatnykh 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.)
26. Lorengel T. I., Leshcheva N. A., Ostashenko A. R., Pleshakova V. I. Antibiotic susceptibility of pathogenic cultures of *Escherichia coli* circulating in a commercial poultry plant in the Omsk Region. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2019; (4): 122–127. <https://elibrary.ru/jatbfq> (in Russ.)
27. Isakova M. N., Sokolova O. V., Bezborodova N. A., Krivonogova A. S., Isaeva A. G., Zubareva V. D. Antimicrobial resistance in clinical *Escherichia coli* isolates obtained from animals. *Veterinary Science Today*. 2022; 11 (1): 14–19. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-1-14-19>
28. Alexyuk M. S., Manakbayeva A. N., Moldakhanov Y. S., Akanova K. S., Imangazy A. S., Alexyuk P. G., Bogoyavlenskiy A. P. Spread of antibiotic resistance among *Escherichia coli* strains isolated from calves with signs of colibacillosis. *Science and Education*. 2024; (2-1): 126–140. <https://elibrary.ru/igrpib> (in Russ.)
29. Syromyatnikov M. Yu., Shabunin S. V., Nesterova E. Yu., Gladkikh M. I., Burakova I. Yu., Smirnova Yu. D., et al. Analysis of antibiotic resistance genes of *Escherichia coli* from the gut of piglets with diarrhea. *Transactions of the Educational Establishment "Vitebsk the Order of "the Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine"*. 2024; 60 (2): 95–100. <https://doi.org/10.52368/2078-0109-2024-60-2-95-100> (in Russ.)

Поступила в редакцию / Received 14.03.2025

Поступила после рецензирования / Revised 15.06.2025

Принята к публикации / Accepted 02.07.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Пименов Николай Васильевич, д-р биол. наук, профессор, заведующий кафедрой иммунологии и биотехнологии ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К. А. Скрябина, г. Москва, Россия; <https://orcid.org/0000-0003-1658-1949>, pimenov-nikolai@yandex.ru

Маликова Ксения Павловна, студент ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, г. Воронеж, Россия; <https://orcid.org/0009-0008-5540-7373>, malksenia2020@mail.ru

Nikolai V. Pimenov, Dr. Sci. (Biology), Professor, Head of Department of Immunology and Biotechnology, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K. I. Skryabin, Moscow, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-1658-1949>, pimenov-nikolai@yandex.ru

Ksenia P. Malikova, Student, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia; <https://orcid.org/0009-0008-5540-7373>, malksenia2020@mail.ru

Вклад авторов: Пименов Н. В. – формирование идеи, формулировка ключевых целей и задач, критический пересмотр черновика рукописи с внесением ценных замечаний, утверждение окончательного варианта работы; Маликова К. П. – проведение исследования, сбор и анализ данных, подготовка и редактирование текста работы.

Contribution of the authors: Pimenov N. V. – conceptualization, formulation of key objectives and research goals, critical revision of the manuscript draft with valuable feedback, approval of the final version of the work; Malikova K. P. – conducting research, data collection, and analysis preparation and writing of the manuscript; text revision and editing.