

Междисциплинарные исследования / Interdisciplinary Research

Научная статья

Original article

DOI: [10.12731/2658-6649-2026-18-1-1413](https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1413)

EDN: [WTQOYM](https://www.edn.ru/WTQOYM)

УДК 579.842.11:579.26:619



Стресс-индуцированное био пленкообразование полирезистентных *Escherichia coli*, выделенных от животных

И.В. Антонеvский, В.И. Плешакова, Н.А. Лещёва,
Е.В. Фрик, О.В. Миненкова

Омский государственный аграрный университет, Российская Федерация

Аннотация

Обоснование. Микробиота животных подвергается постоянному воздействию стресс-факторов, включая антибиотики, внешние условия, ограничение питательных веществ. Учитывая распространенность и выраженный адаптационный потенциал *Escherichia coli*, особую актуальность приобретает способность этих бактерий к био пленкообразованию, которое существенно затрудняет эффективность терапии при инфекционных болезнях, снижая доступность антимикробных средств и повышая устойчивость бактерий к дезинфекционным мерам.

Цель – оценить способность к стресс-индуцированному био пленкообразованию полирезистентных штаммов *Escherichia coli*, выделенных из различных биотопов сельскохозяйственных животных и диких птиц в условиях моделируемого нутриентного стресса.

Материалы и методы. В работе изучено 77 штаммов *Escherichia coli*, которые были выделены из образцов, отобранных от крупного рогатого скота (КРС) (n=52), свиней (n=11), диких птиц (n=11) и индеек (n=3). Выделение и идентификацию культур до вида *Escherichia coli* проводили стандартными микробиологическими методами. Определение био пленкообразующей способности микроорганизмов проводили в модифицированном микропланшетном формате, предложенном Stepanović et al. (2000).

Результаты. Исследование выявило вариабельность в способности к био пленкообразованию у полирезистентных штаммов *Escherichia coli*, выделенных от животных. Штаммы от КРС и свиней демонстрировали наиболее высокий потенциал: 34,6 % и 27,3 % культур соответственно относились к интенсивным продуцентам

био пленки. Культуры, выделенные из смывов со слизистых, формировали био пленки интенсивнее, чем штаммы, выделенные из объектов инфраструктуры. Более 60 % культур были резистентны к аминогликозидам, 70 % к тетрациклам, 80 % к фторхинолонам. Ключевым результатом явилось стресс-индуцированное усиление био пленкообразования при умеренном нутриентном стрессе (разведение питательной среды 1:2-1:64): у 24 штаммов среднее значение оптической плотности (OD) возросло на 15-20 % по сравнению с исходным значением, достигнув максимума $0,372 \pm 0,033$ при разведении 1:32. Однако при сильном обеднении среды ($\geq 1:128$) способность к био пленкообразованию резко подавлялась ($OD < 0,070$). Отдельные штаммы сохраняли высокую био пленкообразующую активность даже в экстремальных условиях. Статистический анализ подтвердил значимое влияние степени разведения среды на уровень био пленкообразования ($p < 0,001$), что визуализировано на тепловой карте.

Ключевые слова: животные; *Escherichia coli*; антибиотикорезистентность; био пленки; нутриентный стресс

Для цитирования. Антонеvский, И. В., Плешакова, В. И., Лещёва, Н. А., Фрик, Е. В., & Миненкова, О. В. (2026). Стресс-индуцированное био пленкообразование полирезистентных *Escherichia coli*, выделенных от животных. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(1), 610–628. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1413>

Stress-induced biofilm formation in multidrug-resistant *Escherichia coli* isolated from animals

**I.V. Antonevskiy, V.I. Pleshakova, N.A. Lescheva,
E.V. Frick, O.V. Minenkova**

Omsk State Agrarian University, Russian Federation

Abstract

Background. The microbiota of animals is constantly subjected to stressors, including antibiotics, environmental conditions, and nutrient limitation. Given the prevalence and pronounced adaptive potential of *Escherichia coli*, the ability of these bacteria to form biofilms is of particular importance. This biofilm formation significantly compromises the efficacy of therapy for infectious diseases by reducing the availability of antimicrobial agents and enhancing bacterial resistance to disinfection measures.

Purpose. To evaluate stress-induced biofilm formation in MDR *Escherichia coli* strains isolated from various ecological niches of livestock and wild birds under simulated nutrient stress.

Materials and methods. A total of 77 *Escherichia coli* strains were studied. Isolates originated from cattle (n=52), pigs (n=11), wild birds (n=11), and turkeys (n=3). Strains were isolated and identified using standard microbiological methods. Biofilm-forming capacity was quantified using a modified microtiter plate method described by Stepanović et al.

Results. Significant variability in biofilm-forming capacity was observed among MDR *E. coli* animal isolates. Strains from cattle and pigs exhibited the highest potential: 34.6 % and 27.3 % were strong biofilm producers (OD>0.400), respectively, whereas no strong producers were identified among turkeys isolates. *E. coli* strains from cattle mucosal swabs formed biofilms more robustly than environmental isolates. High antimicrobial resistance rates were observed: >60 % to aminoglycosides, 70 % to tetracyclines, and 80% to fluoroquinolones. Key findings demonstrated stress-induced biofilm enhancement under moderate nutrient stress (nutrient broth dilution 1:2-1:64). Among 24 tested strains, mean OD increased by 15-20 % versus control, peaking at 0.372±0.033 (1:32 dilution). Conversely, severe nutrient depletion (≥1:128 dilution) markedly suppressed biofilm formation (OD <0.070). Select strains maintained high biofilm capacity under extreme conditions. Statistical analysis confirmed the significant impact of nutrient dilution on biofilm levels (p<0.001), visualized in a heatmap.

Keywords: animals; *Escherichia coli*; antibiotic resistance; biofilms; nutrient stress

For citation. Antonevskiy, I. V., Pleshakova, V. I., Lescheva, N. A., Frick, E. V., & Minenkova, O. V. (2026). Stress-induced biofilm formation in multidrug-resistant *Escherichia coli* isolated from animals. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 18(1), 610–628. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2026-18-1-1413>

Введение

Биопленки представляют собой структурированные сообщества микробных клеток, заключенных в экстрацеллюлярный полимерный матрикс, который обеспечивает повышенную защиту бактериальных клеток от физических, химических и биологических воздействий. Такая защитная роль биопленок является ключевым фактором распространения возбудителей хронических инфекций, значительного снижения эффективности антибактериальной терапии и дезинфекционных мероприятий [1, с. 17-22; 3, с. 237-240; 4, с. 15; 6, с. 119; 7, с. 240].

Формирование биопленок этиологически значимыми микроорганизмами представляет собой один из ключевых механизмов выживания бактерий в неблагоприятных условиях окружающей среды [8, с. 71; 13, с. 102; 18, с. 1703-1709].

Микроорганизмы *Escherichia coli*, являясь комменсалом кишечника теплокровных животных и человека, а также этиологически значимым условно-патогенным микроорганизмом, широко распространены в различных экосистемах, включая объекты животноводческого производства [9, с. 20; 11, с. 49]. Высокая адаптационная пластичность *E. coli* позволяет им успешно колонизировать новые ниши и формировать биопленки на разнообразных абиотических и биотических поверхностях [10, с. 1635; 16, с. 42-23; 17, с. 2866]. Особое внимание в условиях современного интенсивного животноводства вызывает распространение полирезистентных (множественно-устойчивых) штаммов *E. coli*, резистентность которых зачастую сочетается с высокой способностью к биопленкообразованию [2, с. 46-52; 5, с. 111; 12, с. 4; 14, с. 648-653]. Такие штаммы представляют серьезную угрозу, как для здоровья животных, так и для общественного здравоохранения.

Сельскохозяйственные животные постоянно подвергаются воздействию разнообразных стрессовых факторов, среди которых выделяют технологические (скученное содержание, транспортировка), физиологические, химические и, что особенно существенно, биологические – включая широкое и зачастую нерациональное применение антибиотиков, приводящее к селекции резистентных штаммов микроорганизмов [12, с. 5; 15, с. 1389; 19, с. 126].

Известно, что именно стрессовые условия могут служить мощным индуктором перехода бактерий из планктонной формы роста к проявлению адгезивных свойств как защитной стратегии [8, с. 71].

Целью исследования явилась оценка способности к стресс-индуцированному биопленкообразованию полирезистентных штаммов *Escherichia coli*, выделенных из различных биотопов сельскохозяйственных животных и диких птиц, в условиях моделируемого нутриентного стресса.

Материалы и методы

Материалом для исследования служили образцы биологических материалов (фекалии, мазки со слизистых, ткани внутренних органов), отобранные от животных (крупный рогатый скот, свиньи, индейки, дикие птицы). Всего выделено 77 культур *Escherichia coli* с использованием стандартных микробиологических методик.

Антибиотикорезистентный профиль штаммов определяли диско-диффузионным методом на питательной среде Мюллера–Хинтона в соответствии с рекомендациями Европейского комитета по определению

чувствительности к антибиотикам (EUCAST) и МУК 4.2.1890-04 «Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам». В тест включены препараты основных классов антибиотиков: аминогликозиды (амикацин, канамицин, гентамицин), тетрациклины (тетрациклин, доксициклин), бета-лактамы (цефалексин, цефуроксим), фторхинолоны (ципрофлоксацин, левофлоксацин).

Способность к образованию биопленок оценивали методом количественного определения оптической плотности биопленки (OD) в модифицированном микропланшетном формате, предложенном Stepanović et al. [20, с. 175-179]. Исследуемые культуры инкубировали в течение 24 ч при 37 °C в мясоептонном бульоне (МПБ) с 1 % глюкозой. Суточные бульонные культуры доводили до одинаковой оптической плотности, составляющей 0,5 по шкале МакФарланда ($1,5 \times 10^8$ КОЕ/мл), инокулировали в лунки микротитровального планшета и инкубировали 24 ч при 37 °C. После инкубации культуральную жидкость удаляли, лунки трижды промывали фосфатно-солевым буфером (pH 7,2) и окрашивали 0,1 % раствором генцианвиолета в течение 15 мин. Окрашенные биопленки элюировали 95 % раствором этанола, и измеряли оптическую плотность при 620 нм на микропланшетном фотометре Multiscan FC («Thermo Fisher Scientific», Китай). Интерпретацию результатов проводили в соответствии с классификацией Stepanovic et al. (2000).

Для оценки стресс-индуцированного биопленкообразования использовали метод разведения питательной среды. Суточные бульонные культуры *E. coli* доводили до одинаковой оптической плотности, составляющей 0,5 по шкале МакФарланда ($1,5 \times 10^8$ КОЕ/мл) и инокулировали в стерильный МПБ, предварительно разведенный фосфатно-солевым буфером (pH 7,2) до следующих концентраций: 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, 1:128, 1:256, 1:512 и 1:1024. Полученные бактериальные суспензии вносили в лунки планшета и инкубировали в течение 24 ч при 37 °C. После культивирования процедуру оценки биопленки выполняли аналогично вышеописанному методу. Для всех исследуемых культур исследования проводили в трех повторях, определяя среднее значение OD в каждом разведении. Результаты анализировали статистически с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel. Построение тепловой карты выполняли с использованием библиотеки matplotlib языка программирования Python, где цветовая градация отражала уровень оптической плотности биопленки: от минимальных значений (низкое или отсутствующее биопленкообразование) до максимальных (интенсивное образование биопленки).

Результаты исследования

При определении культуральных свойств изолятов, выделенных из исследуемого материала, установлено, что при инкубации на МПА в течение 24 ч при 37 °С *Escherichia coli* формировали колонии размером 1-2 мм. По форме колонии круглые, выпуклые, с ровными краями, по консистенции – влажные, по цвету – серо-белые, при просмотре в проходящем свете полупрозрачные, на дифференциально-диагностическом агаре Эндо формировали колонии малинового цвета с металлическим блеском, правильной округлой формы (рисунок 1).



Рис. 1. Культуры *Escherichia coli*, выделенные от животных на агаре Эндо (слева), МПА (справа), 37 °С, 24 ч

Fig. 1. *Escherichia coli* cultures isolated from animals on Endo agar (left) and MPA (right), 37 °С, 24 h

При культивировании в жидкой питательной среде (МПБ) после 24 ч инкубации при 37°С *Escherichia coli* давали равномерное помутнение. При изучении роста на полужидком агаре отмечали диффузное помутнение по всей длине укола, что свидетельствовало о подвижности культур. В мазках, окрашенных по Граму, кишечная палочка представляла собой грамотрицательные короткие мелкие палочки, расположенные одиночно или короткими цепочками, без образования спор или капсул.

При определении ферментативных свойств установлено, что культуры *Escherichia coli* из сахаров активно ферментировали глюкозу и лактозу, были оксидазоотрицательными и каталазоположительными, образовывали индол и не образовывали сероводород, не утилизировали цитрат.

В ходе исследования проведена количественная оценка способности штаммов *Escherichia coli*, выделенных от различных видов животных, к формированию биопленок в стандартных условиях инкубации.

Полученные данные позволили выявить видовые особенности и различия в биопленкообразующем потенциале культур. Так, низкие исходные уровни биопленкообразования ($OD < 0,200$) преобладали у культур, полученных из образцов помета индеек и фекалий крупного рогатого скота (18 % всех штаммов), у культур от свиней и КРС доля слабых продуцентов биопленки составляла лишь 8 % и 15 % соответственно. Высокий потенциал формирования биопленки ($OD > 0,400$) отмечен у 36 % культур *E. coli* от КРС, 32 % от свиней, что указывает на более адаптированный к стрессу фенотип у бактерий, циркулирующих среди поголовья этих видов животных (таблица 1).

Таблица 1.

**Степень биопленкообразования культур *E. coli*,
выделенных от сельскохозяйственных животных и птиц**

Table 1. Degree of biofilm formation by *E. coli* isolates from farm animals and poultry

Вид животных	Количество	Средняя OD	Степень биопленкообразования					
			Высокая		Средняя		Низкая	
			абс.	%	абс.	%	абс.	%
Крупный рогатый скот	52	0,363	18	34,6	30	57,7	4	7,69
Дикая птица	11	0,264	2	18,2	9	81,8	0	0
Свиньи	11	0,348	3	27,3	6	54,5	2	18,18
Индейки	3	0,246	0	0	2	66,7	1	33,3

Примечание: «OD» – оптическая плотность.

Детальный анализ первичных данных по всем 77 изолятам выявил значительную вариабельность в способности к биопленкообразованию, как внутри групп, выделенных от одного вида животных, так и между видами. У штаммов *E. coli*, выделенных от крупного рогатого скота ($n=52$), значения OD варьировали от минимальных 0,075 до максимальных 0,809. Аналогично, среди изолятов от свиней ($n=11$) диапазон OD составил от 0,136 до 0,791. Такая широкая внутривидовая вариабельность (коэффициент вариации >40 % для КРС и свиней) подчеркивает, что биопленкообразующий потенциал является штамм-специфической характеристикой, существенно варьирующей даже среди бактерий, циркулирующих в сходных условиях одного хозяйства или вида животных. Примечательно, что

в культурах, выделенных от диких птиц ($n=11$) вариабельность степени биопленкообразования была менее выражена ($OD\ 0,194-0,332$).

При сравнении по видам материала, послужившего источником выделенных культур (фекалии, влагалищные смывы, доильные аппараты, поилки и др.), наиболее стабильную способность образовывать биопленку демонстрировали культуры, выделенные из влагалищных и кожных смывов крупного рогатого скота: более 50 % таких штаммов имели выраженную способность к биопленкообразованию. Напротив, изоляты из кормушек и поилок демонстрировали преимущественно средний уровень биопленкообразующей способности.

Антибиотикорезистентный профиль штаммов, сформированный на основе проведенной оценки чувствительности культур к АБП, характеризовался широкой устойчивостью выделенных культур к антибиотикам. В среднем более 60 % культур проявляли устойчивость к аминогликозидам (амикацину, гентамицину), около 70 % к тетрациклинам (доксидоцилин и тетрациклин) и почти 80 % к фторхинолонам (ципрофлоксацину и левофлоксацину). Зоны подавления колебались от нуля (полная резистентность) до 40 мм (чувствительность), при этом большинство значений находилось в пределах 10-25 мм, что соответствует промежуточному (I) или резистентному (R) статусу по международным критериям EUCAST.

В результате исследования 77 полирезистентных культур *Escherichia coli*, выделенных от различных видов животных, был проведен комплексный анализ исходного уровня биопленкообразования и его изменения при инкубации в условиях обедненной питательной среды. Распределение культур по степени исходного биопленкообразования показало, что 32,45% (23 культуры) обладали высоким потенциалом формирования биопленки при культивировании в стандартном бульоне, более 60 % (47 культур) демонстрировали средний уровень, и лишь 9,09 % (7 культур) относились к слабым продуцентам биологической пленки.

Для определения влияния нутриентного стресса на биопленкообразование *E. coli* отобрали 24 культуры со средними исходными показателями оптической плотности биопленки. При снижении концентрации питательного бульона до разведения 1:8-1:32 штаммы демонстрировали усиление биопленкообразования: среднее значение OD во всех 24 протестированных культурах достигало максимума в диапазоне 0,380-0,420, что на 15-20% выше исходного уровня. Это свидетельствует о том, что стресс (умеренное обеднение среды) стимулировал переключение бактерий на биопленкообразующий фенотип, вероятно, как защитный механизм (таблица 2).

Таблица 2.

Влияние разведения питательной среды на биоопленкообразование полирезистентных штаммов *Escherichia coli* (n=24)

Table 2. Effect of culture medium dilution on biofilm formation by multidrug-resistant strains of *Escherichia coli* (n=24)

Разведение питательной среды	Средние значения OD±SD биопленки
Исходное	0,256±0,050
1:2	0,272±0,050
1:4	0,298±0,035
1:8	0,322±0,036
1:16	0,350±0,032
1:32	0,372±0,033
1:64	0,339±0,071
1:128	0,218±0,084
1:256	0,068±0,015
1:512	0,048±0,008
1:1024	0,038±0,006

Примечание: «OD» - оптическая плотность; «SD» - стандартное отклонение.

При дальнейшем повышении степени обеднения (разведения $\geq 1:64$) наблюдали резкое снижение OD ниже 0,200, свидетельствующее о нарушении способности образовывать стабильную биопленку в условиях острого дефицита питательных веществ. Интересно, что штаммы с наиболее высоким исходным потенциалом (например, образцы №11 и №22) сохраняли относительную устойчивость к обеднению: даже при разведении 1:64 их OD превышала 0,400.

Это позволяет предполагать наличие у них более эффективного механизма адаптации к стрессу, возможно, связанного с активацией специализированных систем секреции экстрацеллюлярного матрикса (рисунок 2).

При более выраженном обеднении среды (начиная с разведения 1:256) показатель OD резко падал в четыре-шесть раз по сравнению с 1:64 и сохранял минимальные значения ($<0,070$) для более сильных разведений. Более того, стандартное отклонение резко уменьшалось: вариабельность среди штаммов при сильном обеднении среды была минимальна, что свидетельствует о том, что в условиях выраженного дефицита питательных веществ практически все культуры утратили способность образовывать устойчивую биопленку (рисунок 3).

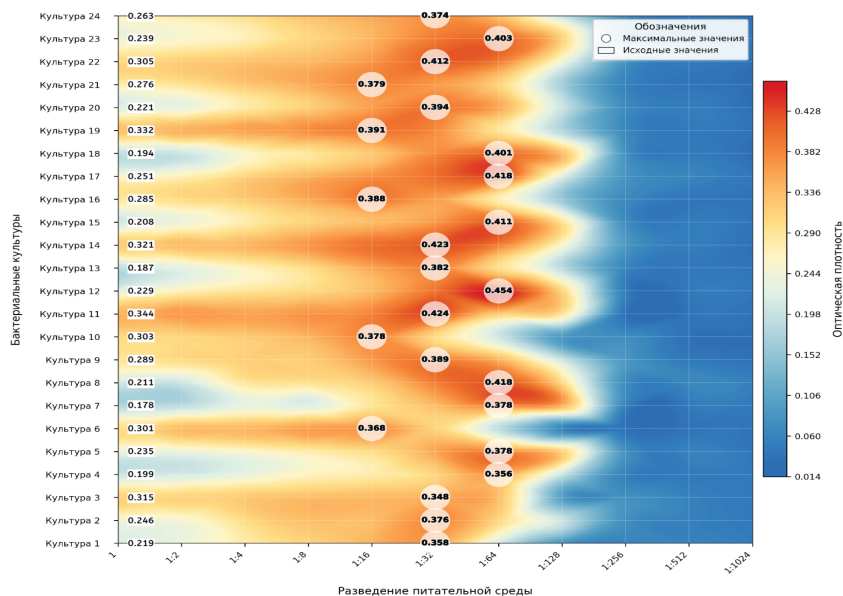


Рис. 2. Тепловая карта распределения оптической плотности биопленок *E. coli* (n=24) в зависимости от разведения питательной среды

Fig. 2. Thermal map showing the distribution of the optical density of *E. coli* biofilms (n=24) as a function of culture medium dilution

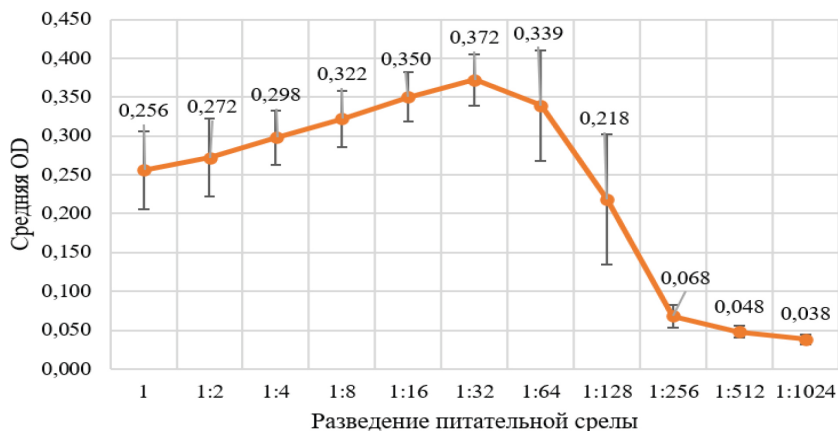


Рис. 3. Динамика интенсивности биопленкообразования *E. coli* при различных разведениях питательной среды

Fig. 3. Changes in the rate of *E. coli* biofilm formation at various nutrient medium dilutions

Такая тенденция указывает на то, что умеренный дефицит питательных ($\leq 1:64$) веществ служит стрессовым фактором, стимулирующим включение защитных адаптационных механизмов у бактерий, в том числе индукцию образования биопленки как формы выживания в неблагоприятной среде. Проведенный однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) показал статистически значимые различия между группами ($p < 0,001$), что подтверждает важность этого фактора в регуляции процесса биопленкообразования.

Однако при дальнейшем увеличении степени разведения ($\geq 1:128$) наблюдали резкое снижение уровня биопленкообразования. Так, при разведении 1:128 средний показатель OD уже составляла $0,224 \pm 0,072$, а при 1:1024 лишь $0,038 \pm 0,006$. Это свидетельствует о том, что при чрезмерной нехватке питательных веществ происходит подавление метаболической активности бактерий, что не позволяет им эффективно образовывать биопленку. Статистически достоверные различия ($p < 0,001$) между OD при концентрации питательной среды 1:64 и OD при более сильных разведениях подтверждают это заключение.

Заключение

Проведенное исследование установило значимую корреляцию между степенью нутриентного стресса и биопленкообразующей активностью полирезистентных штаммов *Escherichia coli*. Выявлена зависимость между степенью разведения питательной среды и уровнем биопленкообразования: умеренный стресс (концентрация питательной среды 1:2-1:64) способствует активации синтеза биопленки, тогда как глубокий дефицит субстрата (разведения 1:128-1:1024) приводит к его ингибированию. Стимуляция биопленкообразования при разведении среды 1:32 сопровождалась увеличением оптической плотности до $0,372 \pm 0,033$, что соответствует 45,3 % приросту относительно исходного уровня ($p < 0,001$). Данный феномен интерпретируется нами как адаптивная стратегия бактерий, направленная на повышение выживаемости в неблагоприятных условиях. Полученные данные подчеркивают важность учета стрессовых факторов окружающей среды как при моделировании условий биопленкообразования *in vitro*, так и при разработке подходов к преодолению устойчивости микроорганизмов к антибактериальным препаратам.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследования выполнены в рамках гранта РНФ «Исследование формирования биопленок этиологически значимыми патогенными и условно-патогенными микроорганизмами с множественной лекарственной устойчивостью, выделенными от сельскохозяйственных животных и птицы» (25-26-20048).

Список литературы

1. Антонецкий, И. В., Плешакова, В. И., & Лещева, Н. А. (2025). Биопленкообразующая микрофлора в структуре микроорганизмов, выделенных от сельскохозяйственных и домашних животных. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана*, 261(1), 16–24. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_261_16. EDN: <https://elibrary.ru/NFFJAC>
2. Артюх, Т. В., Соколова, Т. Н., & Островская, О. Б. (2021). Особенности резистентности клинических изолятов *E. coli* и *C. albicans*, образующих биопленку. *Вестник Витебского государственного медицинского университета*, 20(1), 46–54. <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2021.1.46>. EDN: <https://elibrary.ru/HODBXP>
3. Зубарева, В. Д., Иванова, Л. В., Петрова, О. А., & Сидоренко, С. В. (2022). Молекулярные механизмы и генетические детерминанты устойчивости к антибактериальным препаратам у микроорганизмов (обзор). *Сельскохозяйственная биология*, 57(2), 237–256. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.2.237rus>. EDN: <https://elibrary.ru/KVCBZO>
4. Кузнецова, М. В., Иванов, А. Б., Петрова, С. К., & Смирнов, В. Ф. (2022). Биопленкообразование *Escherichia coli* как триггер катетер-ассоциированных инфекций мочевыводящих путей. *Вестник Пермского федерального исследовательского центра*, (1), 13–25. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2022.1.2>. EDN: <https://elibrary.ru/XRZAYM>
5. Матосова, Е. В., & Дробот, Е. И. (2022). Динамика межвидового взаимодействия энтеробактерий в составе бикультуральной биопленки. В *Инфекционные болезни в современном мире: эволюция, текущие и будущие угрозы. Сборник трудов XIV Ежегодного Всероссийского Конгресса по инфекционным болезням имени академика В. И. Покровского, Москва, 28–30 марта 2022 года* (стр. 111–112). Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Медицинское Маркетинговое Агентство». EDN: <https://elibrary.ru/PXYOYY>
6. Пилип, Л. В., Коваленко, И. М., Мельник, О. Г., & Савченко, Я. О. (2023). Коллиформные бактерии как компоненты биопленок навозных стоков. *Юг России: экология, развитие*, 18(3), 118–125. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-3-118-125>. EDN: <https://elibrary.ru/FYUFLY>

7. Табакова, Ю. А. (2021). Особенности формирования биопленок лактобациллами. В *Биоразнообразие, биоресурсы, вопросы биотехнологии и здоровье населения Северо-Кавказского региона* (стр. 238–241). EDN: <https://elibrary.ru/GIBPQD>
8. Чердакова, В. О., Бряднов, В. С., & Шкиль, Н. Н. (2025). Влияние наночастиц серебра и Биосиб Ацида на биопленки *Staphylococcus aureus*. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, (1), 69–73. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2025-243-1-69-73>. EDN: <https://elibrary.ru/OTWEXA>
9. Alshaikh, S. A., Elsharawy, N. T., El-Sokkary, M. M. A., & Barwa, R. (2024). Correlation between antimicrobial resistance, biofilm formation, and virulence determinants in uropathogenic *Escherichia coli* from Egyptian hospital. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*, 23(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s12941-024-00679-2>. EDN: <https://elibrary.ru/CTTNTH>
10. Del Mazo-Monsalvo, I., & Santiago-Martínez, M. G. (2024). Microbes produce biofilms to support their communities in nutrient-limited environments. *Nature Microbiology*, 9(7), 1636–1637. <https://doi.org/10.1038/s41564-024-01717-7>. EDN: <https://elibrary.ru/DAPCED>
11. Donlan, R. M. (2000). Role of biofilms in antimicrobial resistance. *ASAIO Journal*, 46(6), S47–S52. <https://doi.org/10.1097/00002480-200011000-00037>
12. Dufour, D., Leung, V., & Lévesque, C. M. (2010). Bacterial biofilm: structure, function, and antimicrobial resistance. *Endodontic Topics*, 22(1), 2–16. <https://doi.org/10.1111/j.1601-1546.2012.00277.x>
13. Gunathilaka, G. U. D. C., Nugegoda, D. B., & Kottawatta, S. A. (2024). Biofilm-forming ability, antibiotic resistance and phylogeny of *Escherichia coli* isolated from extra intestinal infections of humans, dogs, and chickens. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 105, 102. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2024.102123>
14. Merchel Piovesan Pereira, B., Wang, X., & Tagkopoulos, I. (2021). Biocide-induced emergence of antibiotic resistance in *Escherichia coli*. *Frontiers in Microbiology*, 12, 640–653. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.640923>. EDN: <https://elibrary.ru/HEMTSF>
15. Nasrollahian, S., Graham, J. P., & Halaji, M. (2024). A review of the mechanisms that confer antibiotic resistance in pathotypes of *E. coli*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 14, 1387–1397. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1387497>. EDN: <https://elibrary.ru/GZGYKB>
16. Patel, R. (2005). Biofilms and antimicrobial resistance. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, (437), 41–47. <https://doi.org/10.1097/00003086-200508000-00009>

17. Qian, W., Li, X., Yang, M., Liu, M., Li, J., & Li, Y. (2022). Relationship between antibiotic resistance, biofilm formation, and biofilm-specific resistance in *Escherichia coli* isolates from Ningbo, China. *Infection and Drug Resistance*, 15, 2865–2878. <https://doi.org/10.2147/IDR.S370869>. EDN: <https://elibrary.ru/EPPJPL>
18. Rather, M. A., Gupta, K., & Mandal, M. (2021). Microbial biofilm: formation, architecture, antibiotic resistance, and control strategies. *Brazilian Journal of Microbiology*, 52(4), 1701–1718. <https://doi.org/10.1007/s42770-021-00624-x>. EDN: <https://elibrary.ru/RBERSO>
19. Stanford, K., Zaheer, R., Klima, C., McAllister, T., Peters, D., Niu, Y. D., & Ralston, B. (2021). Biofilm-forming capacity of *Escherichia coli* isolated from cattle and beef packing plants: relation to virulence attributes, stage of processing, antimicrobial interventions, and heat tolerance. *Applied and Environmental Microbiology*, 87(23), e01126-21. <https://doi.org/10.1128/AEM.01126-21>. EDN: <https://elibrary.ru/UYPGTT>
20. Stepanović, S., Vuković, D., Hola, V., Di Bonaventura, G., Djukić, S., Ćirković, I., & Ruzicka, F. (2000). A modified microtiter-plate test for quantification of staphylococcal biofilm formation. *Journal of Microbiological Methods*, 40(2), 175–179. [https://doi.org/10.1016/S0167-7012\(00\)00122-6](https://doi.org/10.1016/S0167-7012(00)00122-6)

References

1. Antonevsky, I. V., Pleshakova, V. I., & Leshcheva, N. A. (2025). Biofilm-forming microflora in the structure of microorganisms isolated from agricultural and domestic animals. *Proceedings of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. E. Bauman*, 261(1), 16–24. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_1_261_16. EDN: <https://elibrary.ru/NFFJAC>
2. Artyukh, T. V., Sokolova, T. N., & Ostrovskaya, O. B. (2021). Features of the resistance of clinical isolates of *E. coli* and *C. albicans* forming a biofilm. *Bulletin of the Vitebsk State Medical University*, 20(1), 46–54. <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2021.1.46>. EDN: <https://elibrary.ru/HODBXP>
3. Zubareva, V. D., Ivanova, L. V., Petrova, O. A., & Sidorenko, S. V. (2022). Molecular mechanisms and genetic determinants of resistance to antibacterial drugs in microorganisms (review). *Agricultural Biology*, 57(2), 237–256. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.2.237rus>. EDN: <https://elibrary.ru/KVCBZO>
4. Kuznetsova, M. V., Ivanov, A. B., Petrova, S. K., & Smirnov, V. F. (2022). Biofilm formation by *Escherichia coli* as a trigger of catheter-associated urinary tract infections. *Bulletin of the Perm Federal Research Center*, (1), 13–25. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2022.1.2>. EDN: <https://elibrary.ru/XRZAYM>
5. Matosova, E. V., & Drobot, E. I. (2022). Dynamics of interspecies interaction of enterobacteria in a biculture biofilm. In *Infectious diseases in the modern world:*

- evolution, current and future threats. *Proceedings of the 14th Annual All-Russian Congress on Infectious Diseases named after Academician V. I. Pokrovsky, Moscow, March 28–30, 2022* (pp. 111–112). Moscow: Medical Marketing Agency LLC. EDN: <https://elibrary.ru/PXYOYY>
6. Pilip, L. V., Kovalenko, I. M., Melnik, O. G., & Savchenko, Y. O. (2023). Coliform bacteria as components of biofilms in manure effluents. *South of Russia: Ecology, Development*, 18(3), 118–125. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-3-118-125>. EDN: <https://elibrary.ru/FYUFLY>
 7. Tabakova, Yu. A. (2021). Features of biofilm formation by lactobacilli. In *Biodiversity, bioresources, biotechnology issues and public health in the North Caucasus region* (pp. 238–241). EDN: <https://elibrary.ru/GIBPQD>
 8. Cherdakova, V. O., Bryadnov, V. S., & Shkil, N. N. (2025). Effect of silver nanoparticles and Biosib Acid on Staphylococcus aureus biofilms. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, (1), 69–73. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2025-243-1-69-73>. EDN: <https://elibrary.ru/OTWEXA>
 9. Alshaikh, S. A., Elsharawy, N. T., El-Sokkary, M. M. A., & Barwa, R. (2024). Correlation between antimicrobial resistance, biofilm formation, and virulence determinants in uropathogenic Escherichia coli from Egyptian hospital. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*, 23(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s12941-024-00679-2>. EDN: <https://elibrary.ru/CTTNTH>
 10. Del Mazo-Monsalvo, I., & Santiago-Martínez, M. G. (2024). Microbes produce biofilms to support their communities in nutrient-limited environments. *Nature Microbiology*, 9(7), 1636–1637. <https://doi.org/10.1038/s41564-024-01717-7>. EDN: <https://elibrary.ru/DAPCED>
 11. Donlan, R. M. (2000). Role of biofilms in antimicrobial resistance. *ASAIO Journal*, 46(6), S47–S52. <https://doi.org/10.1097/00002480-200011000-00037>
 12. Dufour, D., Leung, V., & Lévesque, C. M. (2010). Bacterial biofilm: structure, function, and antimicrobial resistance. *Endodontic Topics*, 22(1), 2–16. <https://doi.org/10.1111/j.1601-1546.2012.00277.x>
 13. Gunathilaka, G. U. D. C., Nuggeoda, D. B., & Kottawatta, S. A. (2024). Biofilm-forming ability, antibiotic resistance and phylogeny of Escherichia coli isolated from extra intestinal infections of humans, dogs, and chickens. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 105, 102. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2024.102123>
 14. Merchel Piovesan Pereira, B., Wang, X., & Tagkopoulos, I. (2021). Biocide-induced emergence of antibiotic resistance in Escherichia coli. *Frontiers in Microbiology*, 12, 640–653. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.640923>. EDN: <https://elibrary.ru/HEMTSF>

15. Nasrollahian, S., Graham, J. P., & Halaji, M. (2024). A review of the mechanisms that confer antibiotic resistance in pathotypes of *E. coli*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 14, 1387–1397. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1387497>. EDN: <https://elibrary.ru/GZGYKB>
16. Patel, R. (2005). Biofilms and antimicrobial resistance. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, (437), 41–47. <https://doi.org/10.1097/00003086-200508000-00009>
17. Qian, W., Li, X., Yang, M., Liu, M., Li, J., & Li, Y. (2022). Relationship between antibiotic resistance, biofilm formation, and biofilm-specific resistance in *Escherichia coli* isolates from Ningbo, China. *Infection and Drug Resistance*, 15, 2865–2878. <https://doi.org/10.2147/IDR.S370869>. EDN: <https://elibrary.ru/EPPJPL>
18. Rather, M. A., Gupta, K., & Mandal, M. (2021). Microbial biofilm: formation, architecture, antibiotic resistance, and control strategies. *Brazilian Journal of Microbiology*, 52(4), 1701–1718. <https://doi.org/10.1007/s42770-021-00624-x>. EDN: <https://elibrary.ru/RBERSO>
19. Stanford, K., Zaheer, R., Klima, C., McAllister, T., Peters, D., Niu, Y. D., & Ralston, B. (2021). Biofilm-forming capacity of *Escherichia coli* isolated from cattle and beef packing plants: relation to virulence attributes, stage of processing, antimicrobial interventions, and heat tolerance. *Applied and Environmental Microbiology*, 87(23), e01126-21. <https://doi.org/10.1128/AEM.01126-21>. EDN: <https://elibrary.ru/UYPGTT>
20. Stepanović, S., Vuković, D., Hola, V., Di Bonaventura, G., Djukić, S., Ćirković, I., & Ruzicka, F. (2000). A modified microtiter-plate test for quantification of staphylococcal biofilm formation. *Journal of Microbiological Methods*, 40(2), 175–179. [https://doi.org/10.1016/S0167-7012\(00\)00122-6](https://doi.org/10.1016/S0167-7012(00)00122-6)

ВКЛАД АВТОРОВ

Антоневский И.В.: изучение биопленкообразования микроорганизмов, сбор и анализ данных, написание текста.

Плешакова В.И.: планирование исследований, анализ данных и написание текста.

Лещёва Н.А.: изучение биологических свойств возбудителей, сбор и анализ данных, написание текста.

Фрик Е.В.: выделение и изучение биологических свойств возбудителей, в том числе определение антибиотикорезистентности.

Миненкова О.В.: выделение и изучение биологических свойств возбудителей, в том числе определение антибиотикорезистентности.

Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Igor V. Antonevskiy: study of biofilm formation of microorganisms, data collection and analysis, writing of the text.

Valentina I. Pleshakova: research planning, data analysis and writing of the text.

Nadezhda A. Lescheva: study of biological properties of pathogens, data collection and analysis, writing of the text.

Elizaveta V. Frick: isolation and study of biological properties of pathogens, including determination of antibiotic resistance.

Olga V. Minenkova: isolation and study of the biological properties of pathogens, including determination of antibiotic resistance.

All the authors have read the final version of the article and approved it.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Антоневский Игорь Викторович, ассистент каф. ветеринарной микробиологии, инфекционных и инвазионных болезней фак-та ветеринарной медицины ИВМиБ
Омский государственный аграрный университет
Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация
iv.antonevskiy1721@omgau.org

Плешакова Валентина Ивановна, д-р ветеринар. наук, профессор, профессор кафедры ветеринарной микробиологии, инфекционных и инвазионных болезней факультета ветеринарной медицины ИВМиБ
Омский государственный аграрный университет
Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация
vi.pleshakova@omgau.org

Лещёва Надежда Алексеевна, кандидат ветеринарных наук, доцент, заведующий кафедрой инфекционных и инвазионных болезней факультета ветеринарной медицины ИВМиБ
Омский государственный аграрный университет
Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация
na.lescheva@omgau.org

Фрик Елизавета Вячеславовна, аспирант кафедры ветеринарной микробиологии, инфекционных и инвазионных болезней факультета ветеринарной медицины ИВМиБ
Омский государственный аграрный университет
Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация
ev.frik1921@omgau.org

Миненкова Ольга Васильевна, аспирант каф. ветеринарной микробиологии, инфекционных и инвазионных болезней факультета ветеринарной медицины ИВМиБ

*Омский государственный аграрный университет
Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация
ov.minenkova2412@omgau.org*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Igor V. Antonevskiy, Assistant of the Department of Veterinary Microbiology, Infectious and Invasive Diseases of the Faculty of Veterinary Medicine of the Institute of Veterinary Microbiology and Biotechnology
*Omsk State Agrarian University
1, Institutskaya Sq., 644008, Russian Federation
iv.antonevskiy1721@omgau.org
SPIN-code: 1389-6357
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9337-2056>
ResearcherID: MVY-4615-2025*

Valentina I. Pleshakova, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Professor of the Department of Veterinary Microbiology, Infectious and Invasive Diseases of the Faculty of Veterinary Medicine of the Institute of Veterinary Microbiology and Biotechnology
*Omsk State Agrarian University
1, Institutskaya Sq., 644008, Russian Federation
vi.pleshakova@omgau.org
SPIN-code: 4372-5742
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7896-2339>
ResearcherID: ABG-9332-2021
Scopus Author ID: 57214335417*

Nadezhda A. Lescheva, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Infectious and Invasive Diseases of the Faculty of Veterinary Medicine of the Institute of Veterinary Microbiology and Biotechnology
*Omsk State Agrarian University
1, Institutskaya Sq., 644008, Russian Federation
na.lescheva@omgau.org
SPIN-code: 1482-8172
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6334-0422>
ResearcherID: AIF-2193-2022
Scopus Author ID: 57223669914*

Elizaveta V. Frick, Postgraduate Student of the Department of Veterinary Microbiology, Infectious and Invasive Diseases, Faculty of Veterinary Medicine, Institute of Veterinary Microbiology and Biotechnology
Omsk State Agrarian University
1, Institutskaya Sq., 644008, Russian Federation
ev.frik1921@omgau.org
SPIN-code: 6171-0556
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4281-2389>

Olga V. Minenkova, Postgraduate Student of the Department of Veterinary Microbiology, Infectious and Invasive Diseases, Faculty of Veterinary Medicine, Institute of Veterinary Microbiology and Biotechnology
Omsk State Agrarian University
1, Institutskaya Sq., 644008, Russian Federation
ov.minenkova2412@omgau.org
SPIN-code: 9604-4321
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4785-5542>

Поступила 24.07.2025

После рецензирования 01.09.2025

Принята 09.10.2025

Received 24.07.2025

Revised 01.09.2025

Accepted 09.10.2025