



<https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-2-186-193>
УДК 619:616-076:579.84:636.5



Индикация биопленок изолятов *Escherichia coli*, *Escherichia albertii*, *Proteus vulgaris*, идентифицированных при болезнях органов дыхания и пищеварения птиц

Е. М. Ленченко¹, В. В. Пономарев¹, Н. П. Сачивкина²

¹ ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия

² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН), ул. Миклухо-Маклая, 6, г. Москва, 117198, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. При снижении компенсаторных механизмов резистентности организма, изменении состава эволюционно сложившихся микробиоценозов избыточному росту патогенных микроорганизмов способствует репрезентация сигнальных молекул quorum sensing. Антибактериальный потенциал ингибиторов синтеза молекул межклеточных коммуникаций достигается за счет снижения адгезии микроорганизмов, а соответственно, и степени контаминации *in vivo* и *in vitro*.

Цель исследования. Изучение динамики изменений морфометрических и денситометрических показателей биопленок изолятов *Escherichia coli*, *Escherichia albertii*, *Proteus vulgaris*, идентифицированных при болезнях органов дыхания и пищеварения птиц.

Материалы и методы. Исследовали динамику развития биопленок референтных штаммов и изолятов, выделенных из патматериала птицы: куры кросса ROSS-308 40–42-недельного возраста ($n = 20$). Оптическую плотность исследуемых образцов определяли с применением фотометрического анализатора Immupochem-2100 (НТИ, США), длина волны 580 нм (OD_{580}). Морфометрические показатели учитывали при достоверной частоте встречаемости $\geq 90,0\%$ поля зрения оптического микроскопа H604 Trinocular Unico (United Products & Instruments Inc., США) и сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM3030 Plus (Hitachi, Япония).

Результаты. Из патматериала птиц с признаками катарально-геморрагического аэросаккулита, геморрагического энтерита, фибринозного полисерозита и спленомегалии были выделены и идентифицированы *Escherichia coli*, *Escherichia albertii*, *Proteus vulgaris*. В зависимости от времени культивирования установлены прямые коррелятивные зависимости ($r = 0,91$) между морфометрическими и денситометрическими показателями. При дисперсии гетерогенной популяции доминируют клетки с дефектной клеточной стенкой, сферопласты, игольчатые и гигантские структуры, а также клетки-ревертаны.

Заключение. Общие закономерности динамики развития гетерогенной популяции микроорганизмов опосредованы адгезией, синтезом экзоцеллюлярных молекул, интенсивной пролиферацией и дифференциацией клеток в зависимости от стадии клеточного цикла.

Ключевые слова: биопленки, бактерии, гетероморфизм, денситометрия, оптическая микроскопия, сканирующая электронная микроскопия

Благодарности: Авторы благодарят РОСБИОТЕХ, Белгородский филиал ФГБУ «ВНИИЗЖ», РУДН за предоставленные возможности для проведения исследовательской работы.

Для цитирования: Ленченко Е. М., Пономарев В. В., Сачивкина Н. П. Индикация биопленок изолятов *Escherichia coli*, *Escherichia albertii*, *Proteus vulgaris*, идентифицированных при болезнях органов дыхания и пищеварения птиц. *Ветеринария сегодня*. 2025; 14 (2): 186–193. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-2-186-193>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для корреспонденции: Ленченко Екатерина Михайловна, д-р вет. наук, профессор кафедры ветеринарной медицины, РОСБИОТЕХ, Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Россия, lenchenko-ekaterina@yandex.ru

Identification of *Escherichia coli*, *Escherichia albertii*, *Proteus vulgaris* biofilms detected in poultry with respiratory and gastrointestinal diseases

Ekaterina M. Lenchenko¹, Vladislav V. Ponomarev¹, Nadezda P. Sachivkina²

¹ Russian Biotechnological University, 11 Volokolamskoe highway, Moscow 125080, Russia

² Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, 6 Miklukho-Maklaya str., Moscow 117198, Russia

ABSTRACT

Introduction. When the body resistance-associated compensatory mechanisms are impaired or evolutionarily developed microbiocenoses are changed the quorum sensing signaling molecules facilitates excessive growth of pathogenic microorganisms. Antibacterial potential of inhibitors of intercellular communication molecule synthesis is achieved through reducing the microorganism adhesion and, consequently, *in vivo* and *in vitro* contamination.

© Ленченко Е. М., Пономарев В. В., Сачивкина Н. П., 2025

Objective. Study of the dynamics of morphometric and densitometric parameters of biofilms formed by *Escherichia coli*, *Escherichia albertii*, *Proteus vulgaris* isolates identified in poultry with respiratory and gastrointestinal diseases.

Materials and methods. Dynamics of the biofilms formed by reference strains and isolates recovered from pathological samples from ROSS-308 chickens at the age of 40–42 weeks ($n = 20$) were studied. The sample optical densities were determined using Immunochem-2100 photometric analyzer (HTI, USA), wavelength 580 nm (OD_{580}). Morphometric parameters were recorded at $\geq 90.0\%$ reliable frequency in the field of view of H604 Trinocular Unico optical microscope (United Products & Instruments Inc., USA) and Hitachi TM3030 Plus scanning electron microscope (Hitachi, Japan).

Results. *Escherichia coli*, *Escherichia albertii*, and *Proteus vulgaris* were isolated from pathological samples from the poultry with catarrhal hemorrhagic aerobaculitis, hemorrhagic enteritis, fibrinous polyserositis and splenomegaly signs and then identified. Direct correlations ($r = 0.91$) between morphometric and densitometric parameters depending on the cultivation time were established. Cells with defective cell walls, spheroplasts, needle-like and giant structures as well as revertant cells dominated during heterogeneous population dispersion.

Conclusion. General patterns of the heterogeneous microorganism population development are mediated by adhesion, synthesis of exocellular molecules, intensive cell proliferation and differentiation depending on the cell cycle stage.

Keywords: biofilms, bacteria, heteromorphism, densitometry, optical microscopy, scanning electron microscopy

Acknowledgements: The authors thank the Russian Biotechnological University, Belgorod Branch of the Federal Centre for Animal Health, and Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba for the study support.

For citation: Lenchenko E. M., Ponomarev V. V., Sachivkina N. P. Identification of *Escherichia coli*, *Escherichia albertii*, *Proteus vulgaris* biofilms detected in poultry with respiratory and gastrointestinal diseases. *Veterinary Science Today*. 2025; 14 (2): 186–193. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2025-14-2-186-193>

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

For correspondence: Ekaterina M. Lenchenko, Dr. Sci. (Veterinary Medicine), Professor, Department of Veterinary Medicine, Russian Biotechnological University, 11 Volokolamskoe highway, Moscow 125080, Russia, lenchenko-ekaterina@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

При глобализации распространения новых нозологических форм, а также известных вариантов форм, характеризующихся высокими эпидемиологическими показателями, наблюдается статистически достоверная тенденция возрастания инцидентности инфекций, обусловленных антибиотикорезистентными бактериями порядка *Enterobacterales* [1, 2, 3, 4]. Из-за множественной лекарственной устойчивости указанные бактерии причислены к первой категории критического уровня приоритетности для исследований согласно перечню патогенов WHO Bacterial Priority Pathogens List (2024) [5].

Клинические изоляты *Escherichia coli*, идентифицированные при септицемии, неонатальных менингитах, уропатологии человека, имеют генетическое сходство и общие черты генов вирулентности с птичьими патогенными *E. coli* – АПЕС (Avian pathogenic *E. coli*) [6, 7].

Концентрация популяции на ограниченных площадях, комплектование хозяйств животными одного вида и возраста, применение антибиотиков, а также частая смена схемы вакцинации, в том числе применение вакцин, изготовленных на основе «горячих» и вариантных штаммов, способствуют широкому распространению инфекционных болезней [8]. По статистическим данным ветеринарной отчетности, колибактериоз регистрируется повсеместно, нанося значительный экономический ущерб [9, 10]. При развитии генерализованной инфекции у птиц доминирование этиологической значимости *E. coli* составляет от 50,7 до 100% в зависимости от эпизоотической ситуации на птицефабриках различного технологического направления, в крестьянско-фермерских и личных подсобных хозяйствах [11, 12]. Маркером множественной резистентности АПЕС является формирование устойчивости к различным классам антибиотиков, в том числе и к социально значимым: колистину, карбапенемам, β -лактамам [13, 14, 15, 16].

Реализация патогенных свойств *E. coli* обеспечивается факторами вирулентности, кодируемыми хромосомными, плазмидными генами и интегрированными в хромосому бактериофагами [17, 18]. При снижении компенсаторных механизмов мукоцилиарного клиренса и колонизационной резистентности кишечника, изменении количественного и видового состава микробиоценозов репрезентация сигнальных молекул quorum sensing (QS) способствует избыточному росту патогенных микроорганизмов [19]. Терапевтический и дезинфицирующий потенциал ингибиторов QS за счет блокировки синтеза молекул межклеточных коммуникаций позволяет снизить адгезию микроорганизмов, а соответственно, и степень контаминации *in vivo* и *in vitro* [20, 21].

Для раскрытия патогенетических аспектов инициации, развития и исхода инфекционной патологии птицы, характеризующихся избыточным ростом и диссеминацией патогенных энтеробактерий, приоритетность представляют исследования этиологической структуры респираторных и желудочно-кишечных болезней птицы. Изучение общих закономерностей многоуровневых алгоритмов дифференциации гетерогенной популяции, в том числе и жизнеспособных некультивируемых клеток, будут способствовать оптимизации длительной ретроспективной идентификации убиквитарных бактерий, а также в перспективе – разработке способов эрадикации биопленок.

Цель работы – изучить динамику изменений морфометрических и денситометрических показателей биопленок изолятов *E. coli*, *Escherichia albertii*, *Proteus vulgaris*, идентифицированных при болезнях органов дыхания и пищеварения птиц.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Штаммы. В опытах использовали изоляты, выделенные из патматериала птицы – кур кросса ROSS-308,

возраст – 40–42 нед. ($n = 20$). В качестве контроля использовали референтный штамм *Escherichia coli* ATCC 25922 из коллекции Государственного научно-исследовательского института стандартизации и контроля медицинских биологических препаратов имени Л. А. Тарасевича (г. Москва) [22].

Питательные среды: среда Эндо, висмут-сульфидный агар (ВСА; HiMedia, Индия), мясо-пептонный бульон (МПБ), мясо-пептонный агар (МПА), среда Гисса, кровяной агар, среда Олькеницкого, цитратный агар Симмонса (ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии», Россия), Tryptone Bile X-glucuronide agar, Chromocult® Coliform Agar (Merck, Германия).

Тест-системы: «Системы индикаторные бумажные для идентификации микроорганизмов. Набор № 2 для межродовой и видовой дифференциации энтеробактерий» (АО «НПО «Микроген», Россия); «Пластина биохимическая, дифференцирующая энтеробактерии (ПБДЭ)» (ООО «НПО «Диагностические системы», Россия); ENTERO-Rapid 24, NEFERMtest 24 (Erba Lachema s.r.o., Чехия).

Патолого-анатомические исследования проводили при полном вскрытии трупов кур ($n = 20$), направленных из птицеводческих хозяйств Центрально-Черноземного региона Российской Федерации для бактериологического исследования в Белгородский филиал ФГБУ «ВНИИЗЖ». Опыты выполняли в соответствии с «Методическими указаниями по патоморфологической диагностике болезней животных, птиц и рыб в ветеринарных лабораториях», утвержденными Департаментом ветеринарии Минсельхоза России 11.09.2000 № 13-7-2/2137 [23]. При патолого-анатомическом исследовании применяли общепринятые методы, учитывая анатомо-топографические особенности птиц [24, 25, 26].

Микробиологические исследования проводили в соответствии с «Методическими указаниями по бактериологической диагностике смешанной кишечной инфекции молодняка животных, вызываемой патогенными энтеробактериями», утвержденными Департаментом ветеринарии Минсельхозпрода России 11.10.1999 № 13-7-2/1759; «Методическими указаниями по бактериологической диагностике колибактериоза (эшерихиоза) животных», утвержденными Департаментом ветеринарии Минсельхозпрода России 27.07.2000 № 13-7-2/2117; методическими рекомендациями «Выделение и идентификация бактерий желудочно-кишечного тракта животных», утвержденными Департаментом ветеринарии Минсельхоза России 11.05.2004 № 13-5-02/1043 [27, 28, 29].

Авторы подтверждают соблюдение институциональных и национальных стандартов в соответствии с Consensus Author Guidelines for Animal Use (IAVES, 23 July 2010). Протокол исследования одобрен этическим комитетом РУДН, г. Москва, Россия (протокол от 08.10.2024 № 9а/3).

Для количественного учета микроорганизмов исследовали содержимое тонкого отдела и слепых отростков кишечника. Образцы массой 1,0 г помещали в пробирки и добавляли 9,0 см³ 0,85%-го раствора хлорида натрия. Из диагностически значимых разведений 0,1 мл анализируемого образца наносили на поверхность дифференциально-диагностических сред.

Исследуемый патматериал (сердце с перевязанными сосудами, легкие, трубчатую кость, печень с желч-

ным пузырем, селезенку) пастеровской пипеткой наносили на среднюю часть чашки Петри и равномерно растирали стеклянным шпателем. При исследовании тонкого отдела кишечника содержимое удаляли, тщательно соскабливали слизистую оболочку с помощью скарифицирующего конуса пастеровской пипетки и вносили материал на поверхность среды. Во избежание роста роящихся бактерий перед посевами материала поверхность среды Эндо орошали 96%-м этиловым спиртом (1–2 см³). Микроорганизмы культивировали при $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение (24 ± 1) и (48 ± 1) ч. Для выделения чистых культур микроорганизмов бактерий рода *Proteus* проводили посевы по Щукевичу в конденсационную жидкость свежежесточенного МПА и культивировали при $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение (24 ± 1) ч. При наличии роста микроорганизмы пересеивали на среду ВСА и культивировали при $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение (24 ± 1) и (48 ± 1) ч [24, 27, 28].

Для видовой идентификации три типичные для вида колонии микроорганизмов пересеивали в пробирки со скошенным МПА и культивировали при $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение (24 ± 1) ч. Изучение морфологических, культуральных и биохимических свойств микроорганизмов проводили общепринятыми методами [1, 27, 28, 29].

Исследование биофлекса. Для учета денситометрических показателей исследуемые образцы вносили в лунки 96-луночного планшета (АО «Фирма Медполимер», Россия), культивировали в статических аэробных условиях при $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 6, 18, 24, 48 ч. По истечении указанного времени жидкость из лунок планшетов удаляли, осадок трижды промывали 200 мкл фосфатно-буферного раствора (pH 7,2). На каждой стадии промывки производили перемешивание при 2000 об/мин в течение 10 мин с использованием вихревого шейкера MixMate (Eppendorf, Германия). Фиксацию образцов проводили 96%-м этанолом в течение 15 мин, подсушивали при $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 20 мин. Затем в лунки вносили 0,5%-й раствор красителя кристаллического фиолетового (HiMedia Laboratories Pvt. Ltd., Индия), культивировали при $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 5 мин. Содержимое лунок удаляли, трижды промывали 200 мкл фосфатно-буферного раствора (pH 7,3), подсушивали. Краситель элюировали 200 мкл 96%-го этилового спирта в течение 30 мин [30, 31]. Оптическую плотность образцов определяли с применением фотометрического анализатора ImmunoChem-2100 (HTI, США) при длине волны 580 нм (OD_{580}).

Для морфометрических исследований препараты фиксировали смесью спирта и эфира (1:1) в течение 10 мин и окрашивали водным раствором генциан-виолета 1:2000 и по Граму (BioVitrum, Россия). Для сканирующей электронной микроскопии препараты фиксировали парами 25%-го раствора глутарового альдегида в течение 8 ч, а затем парами 1%-го раствора тетраоксида осмия в течение 4 ч. Уплотнение исследуемых образцов проводили этанолом возрастающей концентрации: 30, 50, 96, 100%. Затем образцы подвергали воздействию ионов золота с применением аппарата Q150T ES (Quorum Technologies Ltd., Великобритания). Морфометрические показатели учитывали при достоверной частоте встречаемости $\geq 90,0\%$ поля зрения оптического микроскопа H604 Trinocular Unico (United Products & Instruments Inc., США) и сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM3030 Plus (Hitachi, Япония).

Результаты исследований обрабатывали методом статистического анализа с использованием критерия Стьюдента, результаты считали достоверными при $p \leq 0,05$ [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Патолого-анатомические исследования. При патолого-анатомическом вскрытии трупов кур кросса ROSS-308, возраст – 40–42 недели ($n = 20$), наблюдали, что перьевой покров всех исследованных птиц был тусклый и взъерошенный. Трупы кур были истощены. Выявляли цианоз слизистых оболочек, неравномерное и резкое вздутие желудка, тонкого отдела и слепых отростков кишечника. Множественные точечные и полосчатые кровоизлияния отмечены в мышцах и слизистых оболочках трахеи, желудка и кишечника. Острая застойная гиперемия органов сердечно-сосудистой системы характеризовалась переполнением кровью кровеносных сосудов, скоплением отечной жидкости рыхлой соединительной неоформленной ткани, гемолизом эритроцитов. Выявляли признаки катарально-геморрагического аэросаккулита, спленомегалии, геморрагического энтерита и фибринозного полисерозита (рис. 1).

Индикация и идентификация микроорганизмов. При посеве исследуемого материала на поверхность дифференциально-диагностических питательных сред, предназначенных для первичной идентификации, бактерии формировали круглые колонии с гладкой выпуклой поверхностью, ровными краями, диаметром 1,5–2,5 мм.

На среде Эндо ферментирующие лактозу микроорганизмы формировали красного цвета колонии, часть которых были с характерным металлическим блеском. Количество колоний, выросших при посеве содержимого тонкого кишечника, составило $(1,43 \pm 0,25) \times 10^6$ КОЕ/г; слепых отростков кишечника – $(4,6 \pm 0,32) \times 10^7$ КОЕ/г. Наряду с указанными бактериями из содержимого тонкого кишечника птиц были выявлены не ферментирующие лактозу микроорганизмы, количество бесцветных в центре с розовым оттенком колоний было равно $(0,85 \pm 0,34) \times 10^4$ КОЕ/г (рис. 2А).

При посеве по Шукевичу в конденсационную жидкость свежекошенного МПА выявили наличие роста микроорганизмов. Пересеянные из МПА культуры на среде ВСА формировали темно-зеленые колонии, вокруг которых наблюдали редукционную зону, количество колоний составило $(0,77 \pm 0,87) \times 10^3$ КОЕ/г (рис. 2В).

При изучении морфологических, тинкториальных, биохимических свойств чистых культур микроорганизмов, выделенных из патматериала всех исследованных птиц (100%), были идентифицированы грамотрицательные, факультативно-анаэробные, оксидазоотрицательные, каталазоположительные изоляты *E. coli*. В пробах содержимого тонкого кишечника 16 птиц (80%) выявлена монокультура *E. coli*. В образцах тонкого кишечника 4 птиц (20%) наряду с *E. coli* обнаружены бактерии *E. albertii*, *P. vulgaris*.

Морфологические и денситометрические показатели биопленок. При $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 6, 18, 24, 48 ч в статических аэробных условиях культивирования выявляли общие закономерности развития и формирования биопленок изолятами *E. coli*, *E. albertii*, *P. vulgaris*, независимо от источника выделения. Изменения

значений абсолютных величин оптической плотности исследуемых образцов и интенсивность формирования биопленок представлены в таблице.

В зависимости от времени культивирования установлены прямые коррелятивные зависимости ($r = 0,91$) между интенсивностью денситометрических показателей и возрастанием достоверной частоты визуализации коагрегации бактерий, объединенных межклеточным матриксом.

При репрезентативной выборке $\geq 90,0\%$ поля зрения микроскопа дифференцировали стадии образования биопленок: адгезия, фиксация, микроколония, рост, дисперсия. На начальных этапах развития за счет кондиционирования выявляли сорбцию, специфическую адгезию микроорганизмов к поверхности исследуемого субстрата – стекла. Причем клетки могут на данном этапе как прикрепиться к поверхности субстрата, так и открепиться, переходя вновь в планктонную фазу развития. Межмолекулярные взаимодействия специализированных структур клеточной стенки микроорганизмов обеспечивают необратимую адгезию – фиксацию бактерий. Прикрепившиеся прочно к поверхности субстрата микроорганизмы способствовали адгезии последующих клеток. В зависимости от стадий клеточного цикла дифференцировали клетки

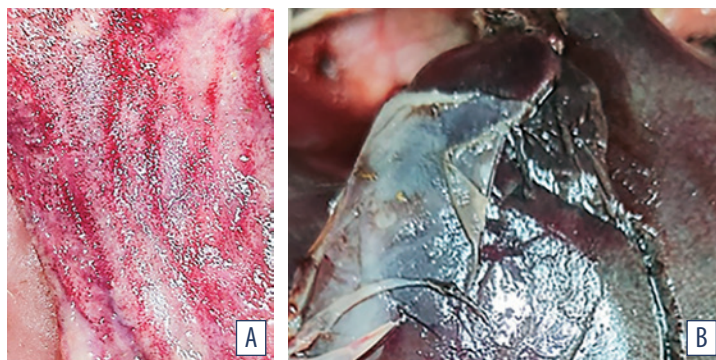


Рис. 1. Патолого-анатомические признаки болезней органов пищеварения птицы: А – множественные кровоизлияния в слизистой оболочке кишечника; В – перигепатит

Fig. 1. Postmortem gastrointestinal lesions in poultry: А – multiple hemorrhages in intestinal mucosa; В – perihepatitis

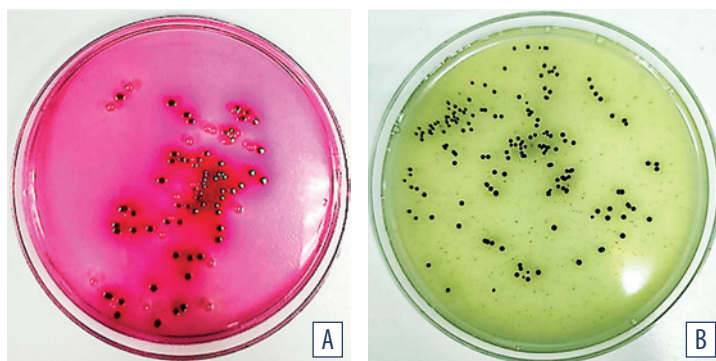


Рис. 2. Культуры микроорганизмов, выделенные из содержимого тонкого кишечника кур: А – среда Эндо, культивирование при $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 24 ч; В – среда ВСА, культивирование при $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение (24 ± 1) ч

Fig. 2. Microorganism cultures isolated from chicken small intestine contents: А – Endo medium, cultivation at $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ for 24 hours; В – bismuth sulfite agar, cultivation at $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ for (24 ± 1) hours

Таблица
Денситометрические показатели биопленок

Table
Densitometric parameters of biofilms

Время культивирования образцов, ч	Абсолютная величина оптической плотности	Интенсивность формирования биопленок
6	$(0,102 \pm 0,04) - (0,111 \pm 0,06)$	$\geq 0,1-0,2$
18	$(0,172 \pm 0,07) - (0,191 \pm 0,05)$	$\geq 0,1-0,2$
24	$(0,246 \pm 0,03) - (0,284 \pm 0,08)$	$\geq 0,2-0,3$
48	$(0,348 \pm 0,07) - (0,526 \pm 0,18)$	$\geq 0,3-0,4$

разной формы и размеров, объединенные межклеточным матриксом (рис. 3).

В процессе интенсивной пролиферации клеток, синтезирующих экзоцеллюлярные молекулы, формировались кластеры (скопления, конгломераты), развивающиеся за счет бинарного деления бактерий. Между кластерами упорядоченно и вместе с тем разнонаправленно расположенных клеток выявляли округлой формы структуры – каналы, содержащие жидкость, обеспечивающие гидратацию популяции. При увеличении численности прикрепившихся делящихся клеток и, соответственно, достоверном возрастании синтеза экзоцеллюлярных компонентов межклеточный матрикс уплотнялся. При окраске анилиновыми красителями со свойствами метакромазии, в зависимости от химического состава, дифференцировали компоненты матрикса: белковые структуры – синий цвет, полисахариды – розовый цвет (рис. 4).

При реализации механизмов межклеточной коммуникации QS за счет увеличения численности популяции, степени развития межклеточного матрикса происходит иммобилизация популяции зрелой трехмерной гетероморфной биопленки. По мере увеличения времени культивирования возрастала дисперсия (распад) гетероморфной популяции. Наряду с типичными для вида клетками выявляли бактерии, характерные для L-трансформации. Доминирующими были клетки с дефектной клеточной стенкой, сферопласты, игольчатые

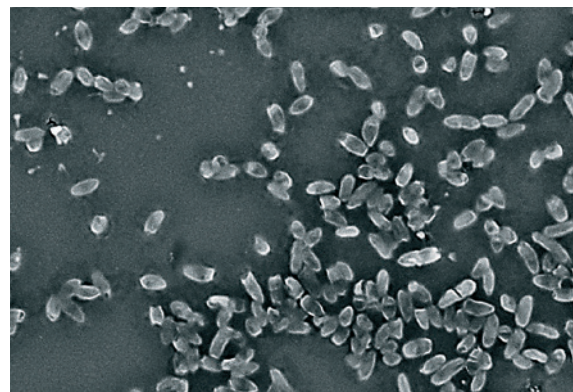


Рис. 3. Морфология биопленки *E. coli* (среда МПБ; культивирование при $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 18 ч; Hitachi TM3030 Plus, Япония)

Fig. 3. *E. coli* biofilm morphology (meat peptone broth (MPB) medium; cultivation at $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ for 18 hours; Hitachi TM3030 Plus, Japan)

и гигантские структуры, а также клетки, способные к реверсии в исходное фенотипическое и метаболическое состояние. Деструкция, частичный или полный автолиз клеток, утрачивающих типичные морфофункциональные признаки (некультивируемые клетки), сопровождался увеличением светопреломления и снижением оптической плотности биопленки (рис. 5).

При развитии синдрома избыточного роста микроорганизмов их патогенный потенциал реализуется за счет транскрипционного контроля адгезии, инвазии, синтеза полимерных молекул [32, 33]. Молекулы QS рассматриваются как перспективные мишени при разработке препаратов, значительно снижающих адгезию АРЕС и ингибирующих экспрессию противовоспалительных цитокинов [34, 35].

Результаты исследований динамики развития биопленок будут способствовать оптимизации способов микробиологического мониторинга критических точек технологии птицеводства, а также могут быть использованы при разработке лекарственных и дезинфицирующих препаратов, блокирующих синтез молекул межклеточной коммуникации.

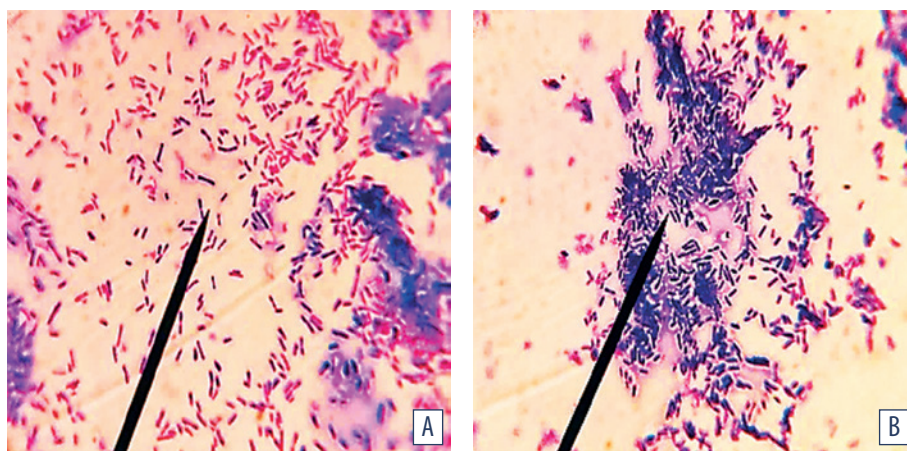


Рис. 4. Морфология биопленки *E. coli* (среда МПБ, температура $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$, время культивирования: А – 18 ч, В – 24 ч; окраска по Граму; ок. 10х, об. 100х, иммерсия, H604 Trinocular Unico, США)

Fig. 4. *E. coli* biofilm morphology (MPB medium, temperature $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$, cultivation period: А – 18 hours, В – 24 hours; Gram staining; oc. 10х, obj. 100х, immersion, H604 Trinocular Unico, USA)

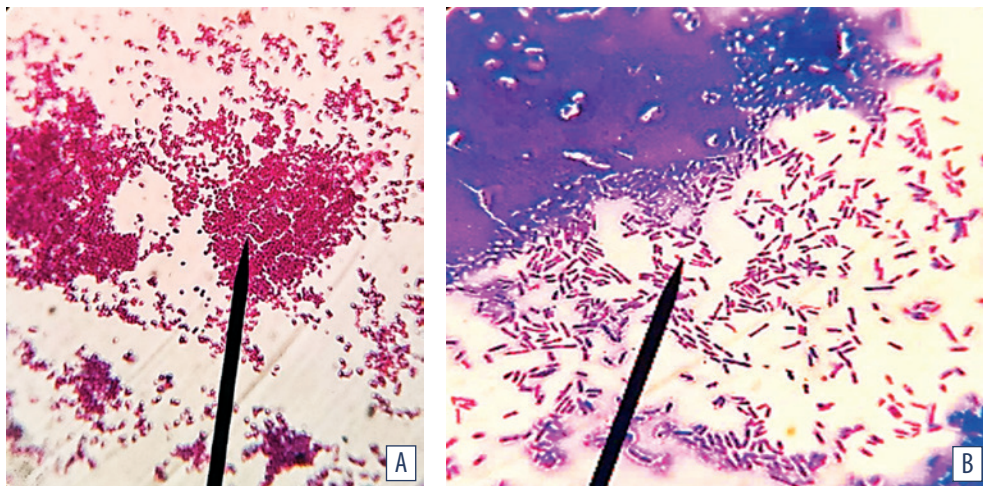


Рис. 5. Морфология биопленки: А – *E. albertii*; В – *E. coli* (среда МПБ; культивирование при $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 48 ч; окраска по Граму; ок. 10х, об. 100х, иммерсия, H604 Trinocular Unico, США)

Fig. 5. Biofilm morphology: А – *E. albertii*; В – *E. coli* (MPB medium; cultivation at $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ for 48 hours; Gram staining; oc. 10х, obj. 100х, immersion, H604 Trinocular Unico, USA)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При $(37 \pm 1,0)^\circ\text{C}$ в течение 6, 18, 24, 48 ч в статических аэробных условиях культивирования выявляли общие закономерности развития и формирования биопленок изолятов *E. coli*, *E. albertii*, *P. vulgaris*. Инициация и развитие биопленки – особая форма межклеточной коммуникации QS, представляющая собой многоэтапный процесс дифференциации единичных подвижных планктонных микроорганизмов и адгезированных популяций клеток. Общей закономерностью динамики развития гетерогенной популяции микроорганизмов, опосредованной адгезией, интенсивной пролиферацией клеток, синтезом экзоцеллюлярных молекул, является коагрегация гетероморфных клеток разных размеров и форм в зависимости от стадии клеточного цикла. При дисперсии гетероморфной популяции доминирующими были бактерии, характерные для L-трансформации. Наряду с клетками, типичными для вида, дифференцировались сферопласты, игольчатые и гигантские структуры, а также клетки, способные к реверсии в исходное фенотипическое и метаболическое состояние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Janda J. M., Abbott S. L. The changing face of the family *Enterobacteriaceae* (Order: "Enterobacterales"): new members, taxonomic issues, geographic expansion, and new diseases and disease syndromes. *Clinical Microbiology Reviews*. 2021; 34 (2):e00174-20. <https://doi.org/10.1128/cmr.00174-20>
- Mirzaei A., Nasr Esfahani B., Ghanadian M., Moghim S. *Alhagi maurum* extract modulates quorum sensing genes and biofilm formation in *Proteus mirabilis*. *Scientific Reports*. 2022; 12 (1):13992. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18362-x>
- Muchaamba F., Barmettler K., Treier A., Houf K., Stephan R. Microbiology and epidemiology of *Escherichia albertii* – an emerging elusive food-borne pathogen. *Microorganisms*. 2022; 10 (5):875. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10050875>
- Hirose S., Konishi N., Sato M., Suzumura K., Obata H., Ohtsuka K., et al. Growth and survival of *Escherichia albertii* in food and environmental water at various temperatures. *Journal of Food Protection*. 2024; 87 (4):100249. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2024.100249>
- WHO bacterial priority pathogens list, 2024: Bacterial pathogens of public health importance to guide research, development and strategies to prevent and control antimicrobial resistance. Geneva: WHO; 2024. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240093461>
- Khairullah A. R., Afnani D. A., Riwi K. H. P., Wido A., Yanestria S. M., Moses I. B., et al. Avian pathogenic *Escherichia coli*: Epidemiology, virulence

and pathogenesis, diagnosis, pathophysiology, transmission, vaccination, and control. *Veterinary World*. 2024; 17 (12): 2747–2762. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.2747-2762>

7. Nawaz S., Wang Z., Zhang Y., Jia Y., Jiang W., Chen Z., et al. Avian pathogenic *Escherichia coli* (APEC): current insights and future challenges. *Poultry Science*. 2024; 103 (12):104359. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104359>

8. Джавадов Э. Д., Новикова О. Б., Красков Д. А., Березкин В. А. Болезни птиц, вызываемые условно-патогенной микрофлорой. *Эффективное животноводство*. 2023; (6): 8–12. <https://doi.org/10.24412/cl-33489-2023-6-8-12>

9. 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>

10. Курмакаева Т. В., Козак С. С., Баранович Е. С. К вопросу о заболеваемости птицы отдельными бактериальными болезнями и обеспечение биобезопасности. *Ветеринария сегодня*. 2024; 13 (2): 171–176. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-2-171-176>

11. Макавчик С. А., Смирнова Л. И., Сухинин А. А., Кузьмин В. А. Видовое разнообразие доминирующих этиологически значимых бактерий, циркулирующих в промышленном птицеводстве. *Международный вестник ветеринарии*. 2022; (1): 22–26. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.1.22>

12. Тамбиев Т. С., Тамбиева Ю. Г., Дулетов Е. Г., Федоров В. Х., Тазаян А. Н., Федюк В. В., Шлычков А. Е. Антимикробная активность фитогенных препаратов в отношении условно-патогенной микрофлоры кишечника кур. *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*. 2023; (2): 27–31. <https://doi.org/10.24412/2074-5036-2023-2-27-31>

13. Панкратов С. В., Рождественская Т. Н., Сухинин А. А., Рузина А. В. Респираторный синдром птиц. Этиология, диагностика, меры борьбы и профилактики. *Птица и птицепродукты*. 2021; (4): 34–36. <https://elibrary.ru/tfcyys>

14. 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>

15. Конищева А. С., Лещева Н. А., Плешакова В. И. Микробиологический спектр возбудителей при желудочно-кишечной патологии у животных. *Вестник КрасГАУ*. 2022; (2): 106–112. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-2-106-112>

16. Прунтова О. В., Русалеев В. С., Шадрова Н. Б. Современное представление о механизмах антимикробной резистентности бактерий (аналитический обзор). *Ветеринария сегодня*. 2022; 11 (1): 7–13. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-1-7-13>

17. Пирожков М. К., Галиакбарова А. А., Пименов Н. В. Современное состояние отечественного рынка вакцинпрепаратов против колибактериоза животных. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2022; (2): 12–20. <https://elibrary.ru/chvpjh>

18. Светоч Э. А., Ерусланов Б. В., Мицевич И. П., Храмов М. В., Перескокова Е. С., Карцев Н. Н., Фурсова Н. К. Алгоритм разработки и характеристика диагностических латексных тест-систем, производимых

в Государственном научном центре прикладной микробиологии и биотехнологии (часть 2). *Бактериология*. 2023; 8 (3): 56–67. <https://obolensk.org/bacteriology/archive-numbers/item/453-svetoch2023-8-3-p56-67>

19. Lenchenko E., Sachivkina N., Lobaeva T., Zhabo N., Avdonina M. Bird immunobiological parameters in the dissemination of the biofilm-forming bacteria *Escherichia coli*. *Veterinary World*. 2023; 16 (5): 1052–1060. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.1052-1060>

20. Peng L.-Y., Yuan M., Wu Z.-M., Song K., Zhang C.-L., An Q., et al. Anti-bacterial activity of baicalin against APEC through inhibition of quorum sensing and inflammatory responses. *Scientific Reports*. 2019; 9 (1):4063. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40684-6>

21. Sachivkina N., Vasilieva E., Lenchenko E., Kuznetsova O., Karamyan A., Ibragimova A., et al. Reduction in pathogenicity in yeast-like fungi by farnesol in quail model. *Animals*. 2022; 12 (4):489. <https://doi.org/10.3390/ani12040489>

22. ATCC: The Global Bioresource Center. <https://www.atcc.org/products/25922>

23. Методические указания по патоморфологической диагностике болезней животных, птиц и рыб в ветеринарных лабораториях: утв. Департаментом ветеринарии Минсельхоза России 11.09.2000 № 13-7-2/2137. <https://base.garant.ru/71878976>

24. Иллюстрированный атлас болезней птиц. Ред. Б. Ф. Бессарабов. М.: Медол; 2006. 247 с.

25. Волков М. С., Ирза В. Н., Варкентин А. В., Роголев С. В., Андриясов А. В. Результаты научной экспедиции в природные биотопы Республики Тыва в 2019 году для проведения мониторинга инфекционных болезней в популяциях диких птиц. *Ветеринария сегодня*. 2020; (2): 83–88. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-2-33-83-88>

26. Громов И. Н. Патоморфологическая и дифференциальная диагностика болезней птиц, протекающих с преимущественным поражением кишечника. *Животноводство и ветеринарная медицина*. 2020; (2): 27–31. <https://elibrary.ru/ofnxc>

27. Методические указания по бактериологической диагностике колибактериоза (эшерихиоза) животных: утв. Департаментом ветеринарии Минсельхозпрода России 27.07.2000 № 13-7-2/2117. <https://docs.cntd.ru/document/555906594>

28. Выделение и идентификация бактерий желудочно-кишечного тракта животных: методические рекомендации: утв. Департаментом ветеринарии Минсельхоза России 11.05.2004 № 13-5-02/1043. <http://gost.gtssever.ru/Data2/1/4293723/4293723844.pdf>

29. Методические указания по бактериологической диагностике смешанной кишечной инфекции молодняка животных, вызываемой патогенными энтеробактериями: утв. Департаментом ветеринарии Минсельхозпрода России 11.10.1999 № 13-7-2/1759. <https://base.garant.ru/71987758>

30. Carter M. Q., Carychao D., Lindsey R. L. Conditional expression of flagellar motility, curli fimbriae, and biofilms in Shiga toxin-producing *Escherichia albertii*. *Frontiers in Microbiology*. 2024; 15:1456637. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1456637>

31. Lenchenko E., Sachivkina N., Petrukhina O., Petukhov N., Zharov A., Zhabo N., Avdonina M. Anatomical, pathological, and histological features of experimental respiratory infection of birds by biofilm-forming bacteria *Staphylococcus aureus*. *Veterinary World*. 2024; 17 (3): 612–619. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.612-619>

32. Robé C., Blasse A., Merle R., Frieser A., Roesler U., Guenther S. Low dose colonization of broiler chickens with ESBP/AmpC-producing *Escherichia coli* in a seeder-bird model independent of antimicrobial selection pressure. *Frontiers in Microbiology*. 2019; 10:2124. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02124>

33. Lenchenko E., Lozovoy D., Strizhakov A., Vatinikov Yu., Byakhova V., Kulikov E., et al. Features of formation of *Yersinia enterocolitica* biofilms. *Veterinary World*. 2019; 12 (1): 136–140. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2019.136-140>

34. Sivarajani M., McCarthy M. C., Sniatynski M. K., Wu L., Dillon J. R., Rubin J. E., White A. P. Biofilm formation and antimicrobial susceptibility of *E. coli* associated with colibacillosis outbreaks in broiler chickens from Saskatchewan. *Frontiers in Microbiology*. 2022; 13:841516. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.841516>

35. Helmy Y. A., Kathayat D., Deblais L., Srivastava V., Closs G. Jr., Tokarski R. J., et al. Evaluation of novel quorum sensing inhibitors targeting auto-inducer 2 (AI-2) for the control of avian pathogenic *Escherichia coli* infections in chickens. *Microbiology Spectrum*. 2022; 10 (3):e00286-22. <https://doi.org/10.1128/spectrum.00286-22>

REFERENCES

1. Janda J. M., Abbott S. L. The changing face of the family *Enterobacteriaceae* (Order: "Enterobacterales"): New members, taxonomic issues, geographic expansion, and new diseases and disease syndromes. *Clinical Microbiology Reviews*. 2021; 34 (2):e00174–20. <https://doi.org/10.1128/cmr.00174-20>

2. Mirzaei A., Nasr Esfahani B., Ghanadian M., Moghim S. Alhagi mauro-rum extract modulates quorum sensing genes and biofilm formation in *Proteus mirabilis*. *Scientific Reports*. 2022; 12 (1):13992. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18362-x>

3. Muchaamba F., Barmettler K., Treier A., Houf K., Stephan R. Microbiology and epidemiology of *Escherichia albertii* – an emerging elusive food-borne pathogen. *Microorganisms*. 2022; 10 (5):875. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10050875>

4. Hirose S., Konishi N., Sato M., Suzumura K., Obata H., Ohtsuka K., et al. Growth and survival of *Escherichia albertii* in food and environmental water at various temperatures. *Journal of Food Protection*. 2024; 87 (4):100249. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2024.100249>

5. WHO bacterial priority pathogens list, 2024: Bacterial pathogens of public health importance to guide research, development and strategies to prevent and control antimicrobial resistance. Geneva: WHO; 2024. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240093461>

6. Khairullah A. R., Afrani D. A., Riwu K. H. P., Widodo A., Yanestria S. M., Moses I. B., et al. Avian pathogenic *Escherichia coli*: epidemiology, virulence and pathogenesis, diagnosis, pathophysiology, transmission, vaccination, and control. *Veterinary World*. 2024; 17 (12): 2747–2762. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.2747-2762>

7. Nawaz S., Wang Z., Zhang Y., Jia Y., Jiang W., Chen Z., et al. Avian pathogenic *Escherichia coli* (APEC): current insights and future challenges. *Poultry Science*. 2024; 103 (12):104359. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104359>

8. Javadov E. J., Novikova O. B., Kraskov D. A., Berezkin V. A. Bolezni ptits, vyzyvayemye uslovno-patogennoi mikrofloroi = Avian diseases caused by opportunistic microorganisms. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2023; (6): 8–12. <https://doi.org/10.24412/cl-33489-2023-6-8-12> (in Russ.)

9. 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>

10. Kurmakaeva T. V., Kozak S. S., Baranovich E. S. On occurrence of some avian bacterial diseases and biosafety provision. *Veterinary Science Today*. 2024; 13 (2): 171–176. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-2-171-176>

11. Makavchik S. A., Smirnova L. I., Sukhinin A. A., Kuzmin V. A. Species diversity of dominant etiologically significant bacteria circulating in industrial poultry. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2022; (1): 22–26. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.1.22> (in Russ.)

12. Tambiev T. S., Tambieva Yu. G., Duletov E. G., Fedorov V. Kh., Tazayan A. N., Fedyuk V. V., Shlychkov A. E. Antimicrobial activity of phyto-genic drugs against conditionally pathogenic intestinal microflora of chickens. *Actual Questions of Veterinary Biology*. 2023; (2): 27–31. <https://doi.org/10.24412/2074-5036-2023-2-27-31> (in Russ.)

13. Pancratov S. V., Rozhdestvenskaya T. N., Sukhinin A. A., Ruzina A. V. Poultry respiratory syndrome. Etiology. Diagnostics. Measures of control and prevention. *Poultry & Chicken Products*. 2021; (4): 34–36. <https://elibrary.ru/tfcyys> (in Russ.)

14. 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>

15. Konishcheva A. S., Leshcheva N. A., Pleshakova V. I. Pathogens microbiological spectrum in gastrointestinal pathology in animals. *Bulletin KrasSAU*. 2022; (2): 106–112. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-2-106-112> (in Russ.)

16. Pruntova O. V., Russaleyev V. S., Shadrova N. B. Current understanding of antimicrobial resistance mechanisms in bacteria (analytical review). *Veterinary Science Today*. 2022; 11 (1): 7–13. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-1-7-13>

17. Pirozhkov M. K., Galiakbarova A. A., Pimenov N. V. The current state of the domestic market for vaccines against colibacillosis of animals. *Veterinariya, Zootekhnika i Biotekhnologiya*. 2022; (2): 12–20. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202202002> (in Russ.)

18. Svetoch E. A., Eruslanov B. V., Mitsevich I. P., Khramov M. V., Perekokova E. S., Kartsev N. N., Fursova N. K. The algorithm for development and characterization of diagnostic latex test-systems producing at the State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology (part 2). *Bacteriology*. 2023; 8 (3): 56–67. <https://obolensk.org/bacteriology/archive-numbers/item/453-svetoch2023-8-3-p56-67> (in Russ.)

19. Lenchenko E., Sachivkina N., Lobaeva T., Zhabo N., Avdonina M. Bird immunobiological parameters in the dissemination of the biofilm-forming bacteria *Escherichia coli*. *Veterinary World*. 2023; 16 (5): 1052–1060. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.1052-1060>

20. Peng L.-Y., Yuan M., Wu Z.-M., Song K., Zhang C.-L., An Q., et al. Anti-bacterial activity of baicalin against APEC through inhibition of quorum sensing and inflammatory responses. *Scientific Reports*. 2019; 9 (1):4063. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40684-6>

21. Sachivkina N., Vasilieva E., Lenchenko E., Kuznetsova O., Karamyan A., Ibragimova A., et al. Reduction in pathogenicity in yeast-like fungi by farnesol in quail model. *Animals*. 2022; 12 (4):489. <https://doi.org/10.3390/ani12040489>
22. ATCC: The Global Bioresource Center. <https://www.atcc.org/products/25922>
23. Methodical guidelines for pathomorphological diagnosis of animal, avian, and fish diseases in veterinary laboratories: approved by the Veterinary Department of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation on 11 September 2000, No. 13-7-2/2137. <https://base.garant.ru/71878976> (in Russ.)
24. Illustrated atlas of avian diseases. Ed. B. F. Bessarabov. Moscow: Medol; 2006. 247 p. (in Russ.)
25. Volkov M. S., Irza V. N., Varkentin A. V., Rogolyov S. V., Andriyosov A. V. Results of scientific expedition to natural biotopes of the Republic of Tyva in 2019 with the purpose of infectious disease monitoring in wild bird populations. *Veterinary Science Today*. 2020; (2): 83–88. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-2-33-83-88>
26. Gromov I. N. Pathomorphological and differential diagnostics of poultry diseases affecting primarily intestines. *Animal Agriculture and Veterinary Medicine*. 2020; (2): 27–31. <https://elibrary.ru/ofnxc> (in Russ.)
27. Methodical guidelines for bacteriological diagnosis of animal colibacillosis (escherichiosis): approved by the Veterinary Department of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation on 27 July 2000 No. 13-7-2/2117. <https://docs.cntd.ru/document/555906594> (in Russ.)
28. Isolation of bacteria from the animal gastrointestinal tract and identification thereof: methodical guidelines approved by the Veterinary Department of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation on 11 May 2004, No. 13-5-02/1043. <http://gost.gtsever.ru/Data2/1/4293723/4293723844.pdf> (in Russ.)
29. Methodical guidelines for bacteriological diagnosis of mixed intestinal infection in young animals caused by pathogenic enterobacteria, approved by the Veterinary Department of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation on 11 October 1999, No. 13-7-2/1759. <https://base.garant.ru/71987758> (in Russ.)
30. Carter M. Q., Carychao D., Lindsey R. L. Conditional expression of flagellar motility, curli fimbriae, and biofilms in Shiga toxin-producing *Escherichia albertii*. *Frontiers in Microbiology*. 2024; 15:1456637. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1456637>
31. Lenchenko E., Sachivkina N., Petrukhina O., Petukhov N., Zharov A., Zhabo N., Avdonina M. Anatomical, pathological, and histological features of experimental respiratory infection of birds by biofilm-forming bacteria *Staphylococcus aureus*. *Veterinary World*. 2024; 17 (3): 612–619. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.612-619>
32. Robé C., Blasse A., Merle R., Friesse A., Roesler U., Guenther S. Low dose colonization of broiler chickens with ESBL-/AmpC-producing *Escherichia coli* in a seeder-bird model independent of antimicrobial selection pressure. *Frontiers in Microbiology*. 2019; 10:2124. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02124>
33. Lenchenko E., Lozovoy D., Strizhakov A., Vatikov Yu., Byakhova V., Kulikov E., et al. Features of formation of *Yersinia enterocolitica* biofilms. *Veterinary World*. 2019; 12 (1): 136–140. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2019.136-140>
34. Sivarajani M., McCarthy M. C., Sniatynski M. K., Wu L., Dillon J. R., Rubin J. E., White A. P. Biofilm formation and antimicrobial susceptibility of *E. coli* associated with colibacillosis outbreaks in broiler chickens from Saskatchewan. *Frontiers in Microbiology*. 2022; 13:841516. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.841516>
35. Helmy Y. A., Kathayat D., Deblais L., Srivastava V., Closs G. Jr., Tokarski R. J., et al. Evaluation of novel quorum sensing inhibitors targeting auto-inducer 2 (AI-2) for the control of avian pathogenic *Escherichia coli* infections in chickens. *Microbiology Spectrum*. 2022; 10 (3):e00286-22. <https://doi.org/10.1128/spectrum.00286-22>

Поступила в редакцию / Received 14.01.2025

Поступила после рецензирования / Revised 07.03.2025

Принята к публикации / Accepted 14.04.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ленченко Екатерина Михайловна, д-р вет. наук, профессор кафедры ветеринарной медицины, РОСБИОТЕХ, г. Москва, Россия; <https://orcid.org/0000-0003-2576-2020>, lenchenko-ekaterina@yandex.ru

Пономарев Владислав Владимирович, аспирант кафедры ветеринарной медицины, РОСБИОТЕХ, г. Москва, Россия; <https://orcid.org/0000-0003-4634-4362>, vladponomarev1404@yandex.ru

Сачивкина Надежда Павловна, канд. биол. наук, доцент департамента ветеринарной медицины Аграрно-технологического института РУДН, г. Москва, Россия; <https://orcid.org/0000-0003-1100-929X>, sachivkina@yandex.ru

Ekaterina M. Lenchenko, Dr. Sci. (Veterinary Medicine), Professor, Department of Veterinary Medicine, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-2576-2020>, lenchenko-ekaterina@yandex.ru

Vladislav V. Ponomarev, Postgraduate Student, Department of Veterinary Medicine, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-4634-4362>, vladponomarev1404@yandex.ru

Nadezda P. Sachivkina, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-1100-929X>, sachivkina@yandex.ru

Вклад авторов: Авторы внесли равный вклад в проведение исследования: сбор и анализ материала; определение целей и задач, методов исследования; формулирование и научное обоснование выводов; оформление ключевых результатов исследования в виде статьи.

Contribution of the authors: The authors contributed to the study equally: data collection and analysis; determination of the study goals, tasks and methods; conclusion formulation and scientific justification; presentation of the key study results as the paper.