



Ветеринария Veterinary science

DOI: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-299-307

EDN JSNKWG

УДК 619:618.96:569.822.2-086

Научная статья / Research article

Общие закономерности динамики развития биопленок грибов *Aspergillus spp.*

Е.М. Ленченко¹  , Н.П. Сачивкина² ,
Д.А. Банникова¹ , М.И. Шопинская² 

¹Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал ФНЦ ВИЭВ РАН, г. Москва, Российская Федерация

²Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация
 lenchenko.ekaterina@yandex.ru

Аннотация. При развитии локальной и системной инфекции человека и животных, фитопатологии, деградации природных и синтетических полимеров, жилых и производственных конструкций адаптивный потенциал патогенов ингибируется QS молекулами, блокирующими синтез индукторов межклеточной коммуникации. Цель исследования — анализ динамики изменений морфофункциональных показателей при инициации, развитии и дисперсии грибов *Aspergillus spp.* Для исследования фенотипических признаков и учета морфометрических показателей биопленок микроорганизмы культивировали при $35 \pm 2,0$ °C в течение 168 ± 1 ч. Культуры микроорганизмов *A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. niger* — быстрорастущие, в зависимости от состава питательных сред и времени культивирования различались как по объему воздушного мицелия, так и окрашиванию обратной стороны. При реализации процессов межклеточной коммуникации на ранних этапах развития иницировалась адгезия конидий к поверхности субстрата. За счет апикального роста герментативных трубочек впоследствии дифференцировались нитевидные структуры — гифы. По мере увеличения времени культивирования выявлялись участки значительной консолидации гифов, дифференцировались конидиогенные структуры. Общие закономерности развития гетерогенных биопленок при репрезентации сигнальных молекул QS опосредованы особенностями цикличности роста и адаптацией популяции к действию факторов среды обитания. Раскрытие механиз-

© Ленченко Е.М., Сачивкина Н.П., Банникова Д.А., Шопинская М.И., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

мов инициации, персистенции, дисперсии при адвентивной споруляции и филаментации микромицет будет способствовать оптимизации схемы длительных ретроспективных микологических исследований, разработке эффективных способов эррадикации биопленок, а также рационализации применения биосинтетической активности грибов в биотехнологии и биоремедиации.

Ключевые слова: микроскопические грибы, межклеточная коммуникация, адгезивные свойства микроорганизмов, адвентивная споруляция, филаментация, дисперсия, конидиогенез, эррадикация биопленок

Вклад авторов: концепция — Е.М. Ленченко; методология, валидация — Н.П. Сачивкина; работа с данными — Е.М. Ленченко, Д.А. Банникова; ревизия и редактирование текста — Е.М. Ленченко, Н.П. Сачивкина, М.И. Шопинская. Все авторы прочитали окончательную версию рукописи и одобрили ее.

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

История статьи: поступила в редакцию 7 мая 2026 г., принята к публикации 10 июня 2026 г.

Для цитирования: Ленченко Е.М., Сачивкина Н.П., Банникова Д.А., Шопинская М.И. Общие закономерности динамики развития биопленок грибов *Aspergillus spp.* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2026. Т. 21. № 2. С. 299–307. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-299-307 EDN: JSNKWG

General patterns of *Aspergillus spp.* biofilm development dynamics

Ekaterina M. Lenchenko¹  , Nadezhda P. Sachivkina² ,
Daria A. Bannikova¹ , Marina I. Shopinskaya² 

¹All-Russian Research Institute of Veterinary Sanitation, Hygiene, and Ecology — Branch
of the Federal Scientific Center VIEV RAS, Moscow, Russian Federation

²RUDN University, Moscow, Russian Federation

 lenchenko.ekaterina@yandex.ru

Abstract. During the development of local and systemic infections of humans and animals, phytopathology, degradation of natural and synthetic polymers, residential and industrial structures, the adaptive potential of pathogens is inhibited by QS molecules that block the synthesis of intercellular communication inducers. The aim of the study was to analyze the dynamics of changes in morphofunctional parameters during the initiation, development, and dispersion of *Aspergillus spp.* fungi. To study the phenotypic characteristics and take into account the morphometric parameters of biofilms, microorganisms were cultivated at $35 \pm 2.0^\circ\text{C}$ for $168 \pm 1\text{h}$. Cultures of *A. flavus*, *A. fumigatus*, and *A. niger* microorganisms are fast-growing; depending on the composition of the nutrient media and the cultivation time, they differed both in the volume of aerial mycelium and in the staining of the reverse side. During the implementation of intercellular communication processes at the early stages of development, adhesion of conidia to the substrate surface was initiated. Due to the apical growth of germinal tubules, filiform structures — hyphae — subsequently differentiated. As cultivation time increased, areas of significant hyphal consolidation emerged, and conidiogenic structures differentiated. General patterns of heterogeneous biofilm development during the representation of QS signaling molecules are mediated by growth cyclicity and population adaptation to environmental factors. Understanding the mechanisms of initiation, persistence, and dispersion during adventitious sporulation and filamentation of micromycetes will facilitate the optimization of long-term retrospective mycological studies, the development of effective methods for biofilm eradication, and the rationalization of the use of fungal biosynthetic activity in biotechnology and bioremediation.

Keywords: microscopic fungi, intercellular communication, adhesive properties of microorganisms, adventitious sporulation, filamentation, dispersion, conidiogenesis, eradication of biofilms

Authors contribution: Conceptualization — E.M. Lenchenko; methodology, validation — N.P. Sachivkina; data processing — E.M. Lenchenko, D.A. Bannikova; writing — revision and editing — E.M. Lenchenko, M.I. Shopinskaya. All authors have read the final version of the manuscript and approved it.

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

Article history: received 7 May 2026; accepted 10 June 2026.

For citation: Lenchenko EM, Sachivkina NP, Bannikova DA, Shopinskaya MI. General patterns of *Aspergillus* spp. biofilm development dynamics. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2026;21(2):299–307. doi: 10.22363/2312-797X-2026-21-2-299-307 EDN: JSNKWG

Введение

При статистически достоверной тенденции возрастания инцидентности социально значимых микозов, опосредованных избыточным ростом адвентивной споруляцией в тканях, установлено доминирование этиологической значимости грибов *Aspergillus* spp. [1–3]. Длительность микологических исследований при дифференциации хронических фтизиатрических процессов достигает от 46 до 110 суток, что сопряжено с применением антимикотической терапии [4–6]. Азолрезистентные штаммы причислены к первой категории критического уровня приоритетности для исследований в соответствии с перечнем патогенов «WHO Fungal Priority Pathogens List»¹ [7, 8]. Территориальные ранжирования репрезентативной выборки позволяют прогнозировать дальнейшее увеличение резистентности к лекарственным и дезинфицирующим препаратам изолятов, идентифицированных из патматериала млекопитающих, птиц, рептилий, земноводных, рыб и пчел [9–15]. Контаминация пищевой продукции и кормов метаболитами грибов в концентрациях, опасных для здоровья человека и животных, может достигать от 40,0 до 100,0 % [16–19]. При развитии локальной и системной инфекции человека и животных, фитопатологии, а также деградации природных и синтетических полимеров, жилых и производственных конструкций морфогенез микромицет инициируется репрезентацией сигнальных молекул Quorum Sensing (QS) [20–23]. Для оптимизации длительной и ретроспективной схемы микологических исследований, разработке эффективных препаратов, снижающих адгезивные свойства микроорганизмов, блокирующих синтез или разрушающих полимерный матрикс, актуальность и научную новизну представляют исследования механизмов инициации, развития, формирования и дисперсии биопленок.

Цель исследования — анализ динамики изменений морфофункциональных показателей при инициации, развитии и дисперсии грибов *Aspergillus* spp.

¹ WHO fungal priority pathogens list to guide research, development and public health action. Geneva : World Health Organization; 2022. Режим доступа: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240060241> (дата обращения: 20.01.2026).

Материалы и методы исследования

Штаммы. В опытах исследовали референтные штаммы (ATCC): *Aspergillus flavus* 16883, *Aspergillus fumigatus* 1028, *Aspergillus niger* 16404².

Питательные среды. Для культивирования микроорганизмов использовали среды: МПБ, МПА, кукурузный агар; агар Чапека с дрожжевым экстрактом (Оболensk, ФБУН «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии», Россия); шоколадный агар (BioMedia, Россия); Sabouraud Fluid Medium и Sabouraud Dextrose Agar w/Chloramphenicol & Cycloheximide (Condalab, Испания).

Микроорганизмы культивировали при $35 \pm 2,0$ °C в течение 168 ± 1 ч, исследование фенотипических признаков проводили общепринятыми микологическими методами. Для морфометрических исследований образцы фиксировали 30,0%-м раствором NaOH в течение 30 мин; окрашивали водным раствором генцианвиолета 1 : 2000 и по Граму (BioVitrum, Россия). Препараты «раздавленная капля» готовили из мицелия грибов слегка прикоснувшись к поверхности колонии микроорганизмов. Тщательное разделение гиф мицелия проводили препаровальными иглами, затем наносили каплю глицерина и покрывали покровным стеклом³. Для сохранения естественной архитектоники биопленок препараты фиксировали: в парах 25,0%-го раствора глутарового альдегида в течение 8 ч; 1,0%-м водным раствором осмиевой кислоты в течение 4 ч. Уплотнение исследуемых образцов проводили этанолом возрастающей концентрации 30, 50, 96, 100° [24]. Оптическую плотность образцов оценивали с применением фотометрического анализатора Immunochem-2100 (НТИ, USA), (OD_{580}). Морфометрические показатели учитывали с применением оптического микроскопа Trinocular Unico (Unico, США).

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

Результаты исследования и обсуждение

При $35 \pm 2,0$ °C культивирования в жидких и плотных средах в течение 168 ± 1 ч изученные микроорганизмы *A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. niger* имели характерный рост, вполне информативный. Культуры микроорганизмов — быстрорастущие: наличие роста микромицет наблюдали на поверхности жидких сред в пробирках и периферической части чашек Петри. Это связано с аэробными свойствами грибов. В зависимости от состава питательных сред и времени культивирования, микромицеты различались как по объему воздушного мицелия — от крайне слабого до обильного, так и окрашиванию обратной стороны колоний (реверс): от почти полного видимого наличия до розовато-коричневых интенсивно окрашенных тонов. Центральная часть колонии очень плотная, интенсивнее окрашена, периферическая часть истонченная, выявлялся бледного цвета пигмент, диффундирующий в толщу среды (рис. 1).

² ATCC. The Global Bioresource Center. Режим доступа: <https://www.lgcstandards-atcc.org> (дата обращения: 05.05.2023).

³ Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М. Определитель патогенных и условно патогенных грибов. М. : Мир, 2001.

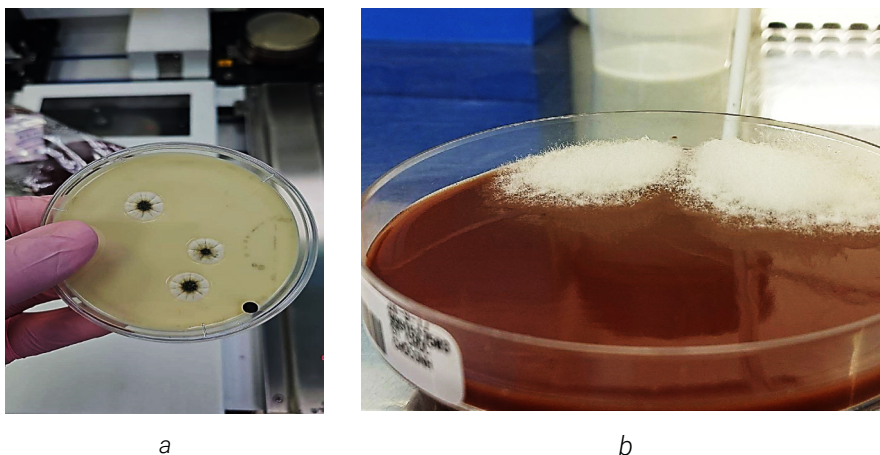


Рис. 1. Культуры микроорганизмов *A. flavus* ($35 \pm 2,0$) °C, 48 ± 1 ч:
а — среда Сабуро; б — шоколадный агар

Источник: выполнили Е.М. Ленченко, Н.П. Сачивкина, Д.А. Банникова.

Культуры микроорганизмов *A. fumigatus* были дымчатые, серовато-зеленые, реверс светло-желтого цвета. Фактура колоний от шерстистых до ватообразных с некоторой зернистостью. На апикальных полюсах тончайших нитевидных структур выявлялись округлые образования зерновидной формы, светло-серого или интенсивно коричневого цвета. Культуры микроорганизмов *A. flavus* формировали шерстистые зеленые или белые пушистые ватообразные колонии, диффундирующие вглубь среды (2,0...3,0 мм). Изначально светло-зеленый, желто-зеленый или лимонный, по мере спороношения становится темно-зеленым, темно-желто-зеленым или буро-зеленым в центре. Реверс колоний бело-кремового цвета. Склероции из плотно переплетенных гифов мицелия — белые, по мере увеличения времени культивирования кремового цвета, а через 168 ч — коричневые. Как правило, выявлялся экссудат, капли которого, вначале бесцветные, постепенно приобретали светло-коричневый цвет. Дифференциальные признаки колоний: темно-зеленый центр и радиальные борозды; периферия — истонченные ажурной формы. Культуры микроорганизмов *A. niger* формировали вначале пушистые колонии, затем зернистые, реверс колоний бесцветный или желтоватого цвета. По мере спороношения цвет мицелия варьировал от темно-коричневого до черного цвета.

При 35 ± 2 °C в течение 168 ± 1 ч в статических условиях культивирования в зависимости от стадии клеточного цикла выявляли общие закономерности развития биопленок изученных грибов. Динамика развития гетерогенной популяции была опосредована адгезией, синтезом экоцеллюлярных молекул, пролиферацией, коагрегацией, дифференциацией структур мицелия в зависимости от стадии клеточного цикла. Реализация процессов межклеточной коммуникации инициировалась адгезией конидий к поверхности субстрата, в наших исследованиях — стекла. За счет апикального роста герментативных трубочек дифференцировались нитевидные структуры — гифы. По мере увеличения времени культивирования выявлялись

участки значительной консолидации гифов, дифференцировались конидиогенные структуры. Гифы изученных видов грибов были септированные, бесцветные.

Конидиеносцы *A. flavus* — грубошероховатые, бесцветные, длина 400,0–800,0 ± 0,8 мкм; везикулы округлой формы, 20,0–45,0 ± 0,7 мкм, поверхность которых почти полностью покрывали фиалиды, 8,0–12,0 ± 0,6, расположенные на метулах. Конидии — гладкие, округлой формы, $d = 3,0\text{--}6,0 \pm 0,5$ мкм.

Конидиеносцы *A. fumigatus* — гладкие, бесцветные, длина 100,0–300,0 ± 0,4 мкм; везикулы куполовидные, 20,0–30,0 ± 0,3 мкм с плотно расположенными фиалидами, 5,0–10,0 ± 0,6. Конидии — гладкие или мелкошероховатые, округлые, $d = 2,0\text{--}3,5 \pm 0,8$ мкм.

Конидиеносцы *A. niger* — гладкие, бесцветные, около везикулы темные, длина 300,0–400,0 ± 0,2 мкм. Везикулы сферической формы, 30,0–75,0 ± 0,5 мкм, поверхность покрывали фиалиды, 8,0–12,0 ± 0,6, расположенные на метулах. Конидии — шероховатые, округлой формы, $d = 4,0\text{--}5,0 \pm 0,5$ мкм (рис. 2).

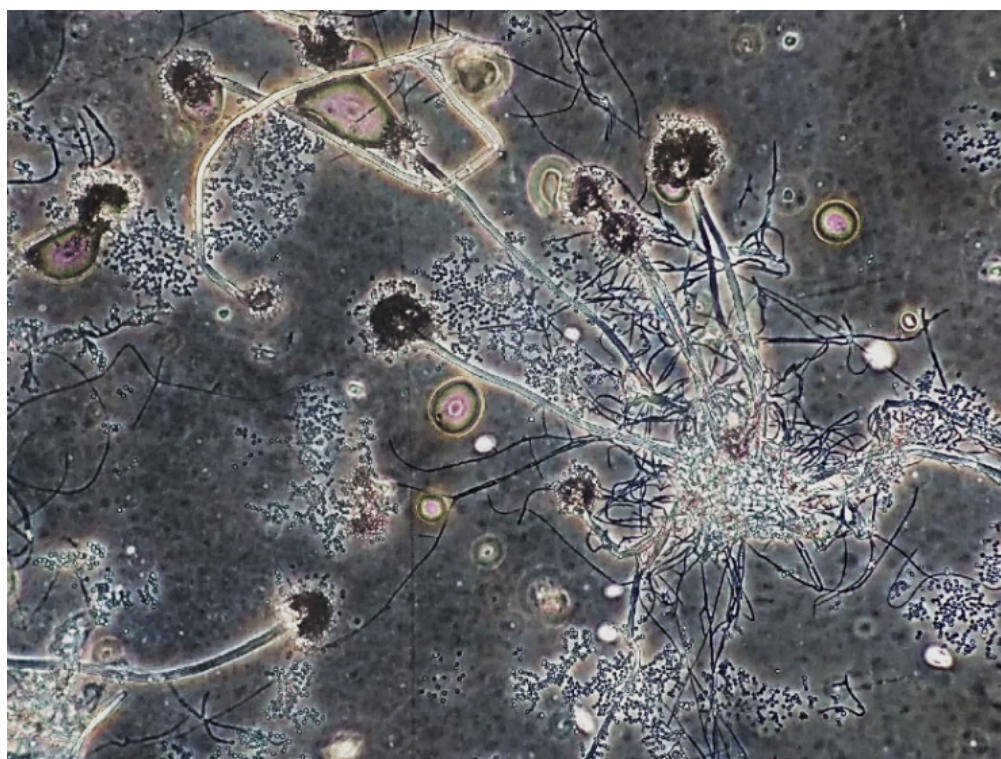


Рис. 2. Морфология микроорганизмов *A. niger*, культивирование на МПА при 35 ± 2 °С, в течение 168 ± 1 ч. Фиксация 30,0 % раствор NaOH, в течение 30 мин: ок. ×10, об. ×40, H604 Trinocular Unico, США

Источник: выполнили Е.М. Ленченко, Н.П. Сачивкина, Д.А. Банникова.

Популяционная иммобилизация биопленок — генетически и фенотипически детерминированная форма межклеточной коммуникации, *Quorum sensing*, опосредованные особенностями цикличности роста и адаптацией популяции

к действию экологических и антропогенных факторов [5, 25, 26]. При разработке новых и ротации лекарственных и дезинфицирующих средств перспективными признаны антиадгезивные композиционные препараты широкого спектра действия [11, 24, 27, 28]. Адаптивный потенциал гетерогенной многоклеточной популяции ингибируется QS молекулами, блокирующими синтез индукторов межклеточной коммуникации, что позволяет снизить адгезию, соответственно, степень контаминации микроорганизмов [24, 29, 30].

Заключение

Проведенное исследование раскрыло фундаментальные аспекты формирования и развития биопленок у представителей рода *Aspergillus* при оптимальных температурных условиях 35 ± 2 °C в течение 168 ± 1 часа. В ходе эксперимента была выявлена способность грибов к самоорганизации, проявляющаяся в формировании пространственно упорядоченных многоклеточных структур. Каждый этап развития биопленки — от первичной адгезии до финальной дисперсии — демонстрирует поразительную согласованность и адаптивность популяции. Особого внимания заслуживает сложная динамика популяционной иммобилизации, включающая последовательную смену фаз: пролиферацию, коагрегацию, филаментацию и другие ключевые процессы, тесно взаимосвязанные между собой.

Полученные результаты открывают новые горизонты в понимании механизмов жизнедеятельности микромицет и могут быть использованы в нескольких перспективных направлениях: совершенствование методологии длительных микологических исследований; разработка инновационных стратегий борьбы с устойчивыми биопленками; оптимизация биотехнологических процессов с использованием грибов; развитие методов биоремедиации.

Исследование механизмов формирования и функционирования грибковых биопленок представляет собой значительный вклад в современную микологию. Понимание этих процессов не только расширяет фундаментальные знания о жизнедеятельности грибов, но и открывает практические перспективы для решения актуальных проблем медицины, ветеринарии и биотехнологии.

Список литературы

1. Valdes ID, van den Berg J, Haagsman A, et al. Comparative genotyping and phenotyping of *Aspergillus fumigatus* isolates from humans, dogs and the environment. *BMC Microbiology*. 2018;18:118. doi: 10.1186/s12866-018-1244-2 EDN: SEGKMI
2. Araújo D, Silva AR, Fernandes R, et al. Emerging approaches for mitigating biofilm-formation-associated infections in farm, wild, and companion animals. *Pathogens*. 2024;13(4):320. doi: 10.3390/pathogens13040320 EDN: XTWDNC
3. Bamber S, Haiduven D, Denning DW. Survey of current national and international guidance to reduce risk of aspergillosis in hospitals. *The Journal of Hospital Infection*. 2025;159:124–139. doi: 10.1016/j.jhin.2025.02.015 EDN: LIJLOM
4. Rayón-López G, Carapia-Minero N, Medina-Canales MG, et al. Lipid-like biofilm from a clinical brain isolate of *Aspergillus terreus*: quantification, structural characterization and stages of the formation cycle. *Mycopathologia*. 2023;188:35–49. doi: 10.1007/s11046-022-00692-z EDN: AYZCOE

5. Lenchenko E, Sachivkina N, Mannapova R, et al. Quorum sensing microorganisms and reduction compensatory mechanisms: natural resistance of bacteria of Psittaciformes. *International Journal of Veterinary Science*. 2025;14(6):1112–1120. doi: 10.47278/journal.ijvs/2025.064 EDN: ZFDSEL
6. Otoo B, Calise DG, Park SC, Bok JW, Keller NP, Rawa MSA. ZfpA-dependent quorum sensing shifts in morphology and secondary metabolism in *Aspergillus flavus*. *Environmental Microbiology*. 2025;27: e70100. doi: 10.1111/1462–2920.70100 EDN: SEOKJY
7. Fisher MC, Denning DW. The WHO fungal priority pathogens list as a game-changer. *Nature Reviews. Microbiology*. 2023;21:211–212. doi: 10.1038/s41579-023-00861-x EDN: SCUUNA
8. Chen S, Chakrabarti A, Cornely O, Meis J, Perfect J. Informing the World Health Organization Fungal Priority Pathogens List (WHO-FPPL): a collection of systematic reviews. *Medical Mycology*. 2024;62(6): myae046. doi: 10.1093/mmy/myae046 EDN: HTTVNK
9. Zhang HW, Ying C, Tang YF. Four ardeemin analogs from endophytic *Aspergillus fumigatus* SPS-02 and their reversal effects on multidrug-resistance tumor cells. *Chemistry and Biodiversity*. 2014;11(1):85–91. doi: 10.1002/cbdv.201300154
10. Кононенко Г.П., Пирязева Е.А., Зотова Е.В., Буркин А.А. Хемо- и фенотипы потенциально токсигенного гриба *Aspergillus flavus* // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56. № 4. С. 276–283. doi: 10.31857/S0026364822040055. EDN: RKREJE
11. Маноян М.Г., Соколов В.В., Гуршева А.С., Габузян Н.А., Панин А.Н. Оценка рисков возникновения резистентности к антимикотическим средствам // Успехи медицинской микологии. 2019. Т. 20. С. 706–711. EDN: ZVYGEL
12. Ленченко Е.М., Павлова И.Б., Абдуллаева А.М., Саввина Л.В., Покровский А.А. Сравнительная оценка способов подготовки препаратов для исследований биопленок микроскопических грибов // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2024. № 4 (52). С. 552–560. doi: 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202404010 EDN: JUHAUP
13. Овчинников Р.С., Капустин А.В., Лаишевцев А.И., Савинов В.А. Микотоксины и микотоксикозы животных — актуальная проблема сельского хозяйства // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2018. № 1 (25). С. 114–123. doi: 10.25725/vet.san.hyг.ecol.201801020 EDN: EKRKUJ
14. Негматов А.А., Наврузшоева Г.Ш., Капустин А.В., Аноятбеков М., Девришов Д.А. Влияние контаминированного корма на возникновение и распространение инфекционных болезней расплода пчел в Таджикистане // Journal of Agriculture and Environment. 2024. № 12 (52). С. 11. doi: 10.60797/JAE.2024.52.4 EDN: KDZTJH
15. Hernandez-Benitez JA, Santos-Ocampo BN, Rosas-Ramirez DG, et al. The effect of temperature over the growth and biofilm formation of the thermotolerant *Aspergillus flavus*. *Journal of Fungi*. 2025;11(1):53. doi: 10.3390/jof11010053
16. Wongsuk T, Sukphopetch P. Effect of quorum sensing molecules on *Aspergillus fumigatus*. *Walailak Journal of Science and Technology*. 2020;17(4):348–358. doi: 10.48048/wjst.2020.6172
17. Ибрагимова С.С., Прунтова О.В., Шадрова Н.Б., Жбанова Т.Б. Анализ выявлений микотоксинов по данным информационной системы RASFF за период с 2020 по 2022 г. // Ветеринария сегодня. 2025. Т. 14. № 2. С. 201–209. doi: 10.29326/2304-196X-2025-14-2-201-209 EDN: UMYMYZ
18. Кононенко Г.П., Пирязева Е.А., Буркин А.А., Зотова Е.В. Продуцирование охратоксина А, фумонизинов и эмодина у вида *Aspergillus niger* из кормовой продукции // Сельскохозяйственная биология. 2024. Т. 59. № 3. С. 550–560. doi: 10.15389/agrobiol.2024.3.550rus EDN: LYIQDD
19. Маноян М.Г., Гуршева А.С., Габузян Н.А., Панин А.Н. Дерматофитозы животных в регионах России: этиологическая структура и чувствительность возбудителей к антимикотическим препаратам // Сельскохозяйственная биология. 2024. Т. 59. № 2. С. 342–354. doi: 10.15389/agrobiol.2024.2.342rus EDN: VVOZSS
20. Mehmood A, Liu G, Wang X, Meng G, Wang C, Liu Y. Fungal quorum-sensing molecules and inhibitors with potential antifungal activity: a review. *Molecules*. 2019;24(10):1950. doi: 10.3390/molecules24101950 EDN: GQHZBV
21. Ленченко Е.М., Сачивкина Н.П., Луищев А.В. Динамика развития биопленок грибов *Nakaseomyces glabratus* // Ветеринария сегодня. 2024. Т. 13. № 3. С. 269–274. doi: 10.29326/2304-196X-2024-13-3-269-274 EDN: YAKOXT
22. Cheng X, Zhang L, Luo J, et al. Two pathogenic fungi isolated from chalkbrood samples and honey bee viruses they carried. *Frontiers in Microbiology*. 2022;13:843842. doi: 10.3389/fmicb.2022.843842 EDN: ACZHGU

23. Engelbert K, Deffur C, Cairns TC, et al. Adjusting *Aspergillus niger* pellet diameter, population heterogeneity, and core architecture during shake flask cultivation. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*. 2025;18(1):62. doi: 10.1186/s13068-025-02661-2 EDN: WOZIBC
24. Cano-Pérez M, Caballero Pérez JD, Gómez García de la Pedrosa E, Gómez-López A. Biofilm formation in *Aspergillus fumigatus*: a comparative study of strains from different origins. *Microorganisms*. 2026;14(2):272. doi: 10.3390/microorganisms14020272 EDN: LMCGTM
25. Sachivkina N, Vasilieva E, Lenchenko E, et al. Reduction in pathogenicity in yeast-like fungi by farnesol in quail model. *Animals*. 2022;12(4):489. doi: 10.3390/ani12040489 EDN: NRTUEB
26. Liu S, Le Mauff F, Sheppard DC, Zhang S. Filamentous fungal biofilms: conserved and unique aspects of extracellular matrix composition, mechanisms of drug resistance and regulatory networks in *Aspergillus fumigatus*. *NPJ Biofilms and Microbiomes*. 2022;8(1):83. doi: 10.1038/s41522-022-00347-3 EDN: MERNSS
27. González-Ramírez AI, Ramírez-Granillo A, Medina-Canales MG, Rodríguez-Tovar AV, Martínez-Rivera MA. Analysis and description of the stages of *Aspergillus fumigatus* biofilm formation using scanning electron microscopy. *BMC Microbiology*. 2016;16(1):243. doi: 10.1186/s12866-016-0859-4 EDN: QIKBAW
28. Сачивкина Н.П., Нечет О.В., Гашимова И.С., Кондратьева Д.В., Сахно Н.В. Действие фарнезола на чувствительность микроорганизмов из бактериально-грибковой биопленки к антимикробным средствам in vitro // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 2. С. 370–382. doi: 10.22363/2312-797X 2024-19-2-370-382 EDN: HBBYLN
29. Vatnikov Y, Shabunin S, Kulikov E, et al. The efficiency of therapy the piglets gastroenteritis with combination of Enrofloxacin and phytosorbent *Hypericum perforatum* L. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020;12(suppl 2):3064–3073. doi: 10.31838/ijpr/2020.sp2.373 EDN: GIENHY
30. Navale V, Vamkudoth KR, Ajmera S, Dhuri V. *Aspergillus* derived mycotoxins in food and the environment: prevalence, detection, and toxicity. *Toxicology Reports*. 2021;8:1008–1030. doi: 10.1016/j.toxrep.2021.04.013 EDN: JVCPCB
31. Gao J, Liu H, Jin Y, et al. Glucose and HODEs regulate *Aspergillus ochraceus* quorum sensing through the GprC-AcyA pathway. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2024;81(1):241. doi: 10.1007/s00018-024-05160-z EDN: EHKLIIQ

Об авторах:

Ленченко Екатерина Михайловна — доктор ветеринарных наук, профессор, научный консультант лаборатории санитарной микробиологии и сектора приготовления питательных сред, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал ФНЦ ВИЭВ РАН, Российская Федерация, 123022, г. Москва, Звенигородское шоссе, д. 5; e-mail: lenchenko.ekaterina@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-2576-2020 SPIN-код: 9417-0889

Сачивкина Надежда Павловна — кандидат биологических наук, доцент департамента ветеринарной медицины, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, корп. 2; e-mail: sachivkina@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1100-929X SPIN-код: 1172-3163

Банникова Дарья Андреевна — кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории санитарной микробиологии и сектора приготовления питательных сред, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал ФНЦ ВИЭВ РАН, Российская Федерация, 123022, г. Москва, Звенигородское шоссе, д. 5; e-mail: andreevna.07@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4766-0183 SPIN-код: 1618-0317

Шопинская Марина Ивановна — кандидат ветеринарных наук, доцент департамента ветеринарной медицины, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, корп. 2; e-mail: shopinskaya-mi@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-3823-3737 SPIN-код: 2550-4781