

Научная статья

УДК 502.55

DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-24-35

Влияние синтетических поверхностно-активных веществ на микробный состав биопленки навозных стоков

Лариса Валентиновна Пилип¹, Надежда Викторовна Сырчина²

¹Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

²Вятский государственный университет, Киров, Россия

¹pilip_larisa@mail.ru*, <http://orcid.org/0000-0001-9695-7146>

²nvms1956@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8049-6760>

Аннотация. Изучение состава, структуры и коммуникации между различными микроорганизмами в биопленках является приоритетным направлением развития экологической микробиологии. В составе биопленок бактерии, грибы, простейшие и другие микроорганизмы становятся более устойчивыми к действию неблагоприятных факторов внешней среды. Микроорганизмы, формирующие биопленки, колонизируют различные поверхности, а также кожу и слизистые оболочки животных и человека, приобретают антибиотикорезистентность и устойчивость к дезинфицирующим веществам. Цель работы заключалась в оценке влияния различных типов синтетических поверхностно-активных веществ на состав биопленок, формирующихся на поверхности свиных навозных стоков. Синтетические поверхностно-активные вещества широко используются в различных отраслях, в том числе в промышленном животноводстве, преимущественно в виде моющих средств и фармакологических препаратов. Биопленки с поверхности навозных стоков извлекали с соблюдением правил асептики и антисептики через 14 суток после начала эксперимента. Микробиологические исследования показали, что внесение катионактивных, неионогенных и анионактивных синтетических поверхностно-активных веществ приводит к существенной трансформации микробиоты биопленки – превалярованию грибов *Aspergillus* ssp. и *Candida* sp. (44,5–55,2 %) над грамположительными микроорганизмами, характерными для контрольного варианта (81,49%), и формированию более плотных биопленок, способных снижать процессы газовой выделенной и запаховую нагрузку от навозных стоков. Под влиянием синтетических поверхностно-активных веществ из состава биопленок исчезли *Staphylococcus epidermidis*, *Lactobacillus* ssp. и *Bifidobacterium* ssp., а в варианте с анионактивными веществами также *Bacteroides* sp. и *Pseudomonas* spp. Наибольшую устойчивость к синтетическим поверхностно-активным веществам проявили *Clostridium* ssp.

Ключевые слова: поверхностные биопленки, навозные стоки, микробиота навозных стоков, поверхностно-активные вещества, клостридии, катионактивные ПАВ, неионогенные ПАВ, анионактивные ПАВ.

Для цитирования: Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Влияние синтетических поверхностно-активных веществ на микробный состав биопленки навозных стоков // Известия КГТУ. 2024. № 73. С. 24-35. DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-24-35.

Original article

The influence of synthetic surfactants on the microbial composition of manure biofilm

Larisa V. Pilip¹, Nadezhda V. Syrchina²

¹Vyatka State University, Kirov, Russia

²Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

¹pilip_larisa@mail.ru*, <http://orcid.org/0000-0001-9695-7146>

²nvms1956@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8049-6760>

Abstract. The study of the composition, structure and communication between various microorganisms in biofilms is a priority direction of the development of environmental microbiology. Being a part of the biofilms bacteria, fungi, protozoa and other microorganisms become more resistant to the effects of adverse environmental factors. Microorganisms that form biofilms colonize various surfaces, as well as the skin and mucous membranes of animals and humans, acquire antibiotic resistance and resistance to disinfectants. The aim of the work was to assess the effect of various types of synthetic surfactants on the composition of biofilms formed on the surface of pig manure effluents. Surfactants are widely used in various industries, including industrial animal husbandry, mainly in the form of detergents and pharmacological preparations. Biofilms were removed from the surface of the manure effluents in compliance with the rules of asepsis and antiseptics 14 days after the start of the experiment. Microbiological studies have shown that the introduction of cationic surfactants, nonionic surfactants and anionactive surfactants leads to a significant transformation of the biofilms microbiota: the prevalence of fungi *Aspergillus* ssp. and *Candida* sp. (44.5–55.2%) over gram-positive microorganisms, characteristic of the control variant (81.49%), and the formation of denser biofilms, capable of reducing the processes of gas emission and odor load from manure effluents. Under the influence of surfactants from biofilms, *Staphylococcus epidermidis*, *Lactobacillus* ssp. disappeared from the composition of biofilms and *Bifidobacterium* ssp., and in the variant with anionactive surfactants also *Bacteroides* sp. and *Pseudomonas* spp. *Clostridium* ssp. showed the greatest resistance to surfactants.

Keywords: surface biofilms, manure effluents, microbiota of manure effluents, surfactants, *Clostridia*, cationic surfactants, nonionic surfactants, anionic surfactants.

For citation: Pilip L. V., Syrchina N. V. The influence of synthetic surfactants on the microbial composition of manure biofilm. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024;(73): 24-35. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-73-24-35.

ВВЕДЕНИЕ

Биопленки (БП) относятся к старейшим, наиболее успешным, широко распространенным и устойчивым формам жизни на Земле, способным существовать в самых экстремальных условиях [1]. Образуюсь на границе раздела фаз, они представляют собой сложные, пространственно и метаболически структурированные консорциумы гетеротрофных и автотрофных микроорганизмов (МО), объединенных выделяемыми ими внеклеточными полимерными веществами – матриксом. Матрикс содержит полисахариды, белки, нуклеиновые кислоты, липиды и другие соединения. Комплекс внеклеточных биополимеров защищает обитателей БП от высыхания, воздействия токсичных соединений, ультрафиолетового излучения и иных неблагоприятных факторов, а также служит источником некоторых питательных веществ [2, 3]. В состав БП могут входить микроводоросли, бактерии, грибы, простейшие, вирусы, археи [4, 5].

Считается, что МО, образующие БП, активно колонизируют живые и неживые поверхности, вызывая серьезные проблемы в таких сферах, как медицина, нефтедобыча, производство продуктов питания, водный транспорт, коммунальное хозяйство и др. [6]. На животноводческих предприятиях БП формируются на поверхности навозных стоков (НС), стенах, полу, в поилках, кормушках и даже на самих животных [7].

Устойчивость МО, образующих БП, значительно выше, чем устойчивость МО, обитающих в форме планктона. Экспрессия их генов и характер роста также существенно отличаются от планктонных форм [8]. Биопленки могут содержать устойчивые к антибиотикам и дезинфицирующим средствам патогенные МО, представляющие опасность не только для животных, но и для человека [9–11].

Характер и развитие БП зависят от многих факторов, включая температуру, pH, содержание кислорода, гидродинамические условия, осмолярность, наличие питательных и специфических веществ и ионов [12]. Существенное влияние на БП оказывают поверхностно-активные вещества (ПАВ), изменяющие свойства границы раздела между различными фазами [13]. Разные типы ПАВ попадают в НС в составе моющих средств, ветеринарных препаратов, кормовых добавок. Сведения о направлениях трансформации микробиоты НС под влиянием сурфактантов в опубликованных источниках практически отсутствуют. Вместе с тем, изучение состава, структуры, межклеточных отношений и коммуникаций между различными МО в биопленках в настоящее время является одним из наиболее приоритетных и многообещающих направлений развития экологической микробиологии [14, 15].

Цель настоящей работы состояла в оценке влияния различных типов синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) на состав биопленок, формирующихся на поверхности свиных навозных стоков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполняли на примере жидкой фракции (ЖФ) свиных НС, которую получали методом сепарирования содержимого навозонакопительных ванн, расположенных в подпольном пространстве свинарников крупного животноводческого предприятия Кировской области. Срок нахождения НС в навозо-

накопительных ваннах – 10 суток. Образцы ЖФ для проведения исследований отбирали в стерильные емкости непосредственно после сепарирования НС и в течение трех часов доставляли в лабораторию.

Для оценки влияния различных типов СПАВ на состав и свойства формирующихся на поверхности ЖФ биопленок использовали бензалкония хлорид – катионактивное СПАВ (КПАВ), лауридиметиламина оксид – неионогенное СПАВ (НПАВ), лауретсульфат натрия – анионактивное СПАВ (АПАВ). Все названные сурфактанты проявляют выраженные эмульгирующие, солюбилизирующие и пенообразующие свойства. Для лауретсульфата натрия характерна низкая токсичность. Соответствующее АПАВ активно включают в состав многих моющих и косметических средств. В отличие от лауретсульфата натрия бензалкония хлорид и лауридиметиламина оксид проявляют выраженную антимикробную активность в отношении различных МО.

Для проведения исследований образцы ЖФ помещали в пятилитровые пластиковые емкости, вносили добавки рабочих растворов СПАВ согласно вариантам эксперимента и перемешивали.

Варианты эксперимента: 1 вариант – ЖФ без добавок, 2 вариант – ЖФ + КПАВ, 3 вариант – ЖФ + НПАВ, 4 вариант – ЖФ + АПАВ.

Объем ЖФ в каждой емкости составлял 4 дм³, объем добавки каждого СПАВ в расчете на безводную форму – 0,01 г/дм³, массовая доля рабочих растворов СПАВ – 1 %. Все емкости прикрывали (не герметично) крышками и помещали в затемненное теплое помещение (+20±2 °С), во время наблюдений жидкость в емкостях не перемешивали. На поверхности подготовленных таким образом образцов ЖФ постепенно формировались биопленки. Общее время наблюдений за формированием поверхностных БП с момента внесения добавок СПАВ до момента отбора проб для проведения микробиологических исследований составило 14 суток.

БП с поверхности НС извлекали с соблюдением правил асептики и антисептики и доставляли в течение 1 часа в специализированную микробиологическую лабораторию. После ряда серийных десятикратных разведений биологический материал высевали на стандартные и специализированные питательные среды (ОФС.1.7.2.0008.15. Определение концентрации микробных клеток). Идентификацию МО проводили с применением биохимических тестов АНАЭРОтест 23, ЭНТЕРОтест 24N, СТАФИтест 16, СТРЕПТОтест 16, САНДИДАтест 21. Для выделения анаэробных бактерий использовали питательные среды АнаэроАгар, микроанаэрогат, а также газогенерируемые пакеты для создания анаэробноза, (температура 37 °С, время 24–72 суток). Культивирование дрожжей осуществляли на среде Сабуро.

Все исследования проводили в трехкратной повторности со статистической обработкой полученных результатов в программе Microsoft Excel. Статистическую значимость различий средних величин оценивали по t-критерию Стьюдента. Стандартное отклонение в каждой серии измерений не превышало 12 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате микробиологических исследований было установлено, что внесение ПАВ приводит к существенной трансформации микробиоты поверхностных БП, а именно к изменению соотношения грамположительных, грамотрицательных бактерий и грибов (рис. 1), при этом общая численность МО изменяется незначительно (табл.).

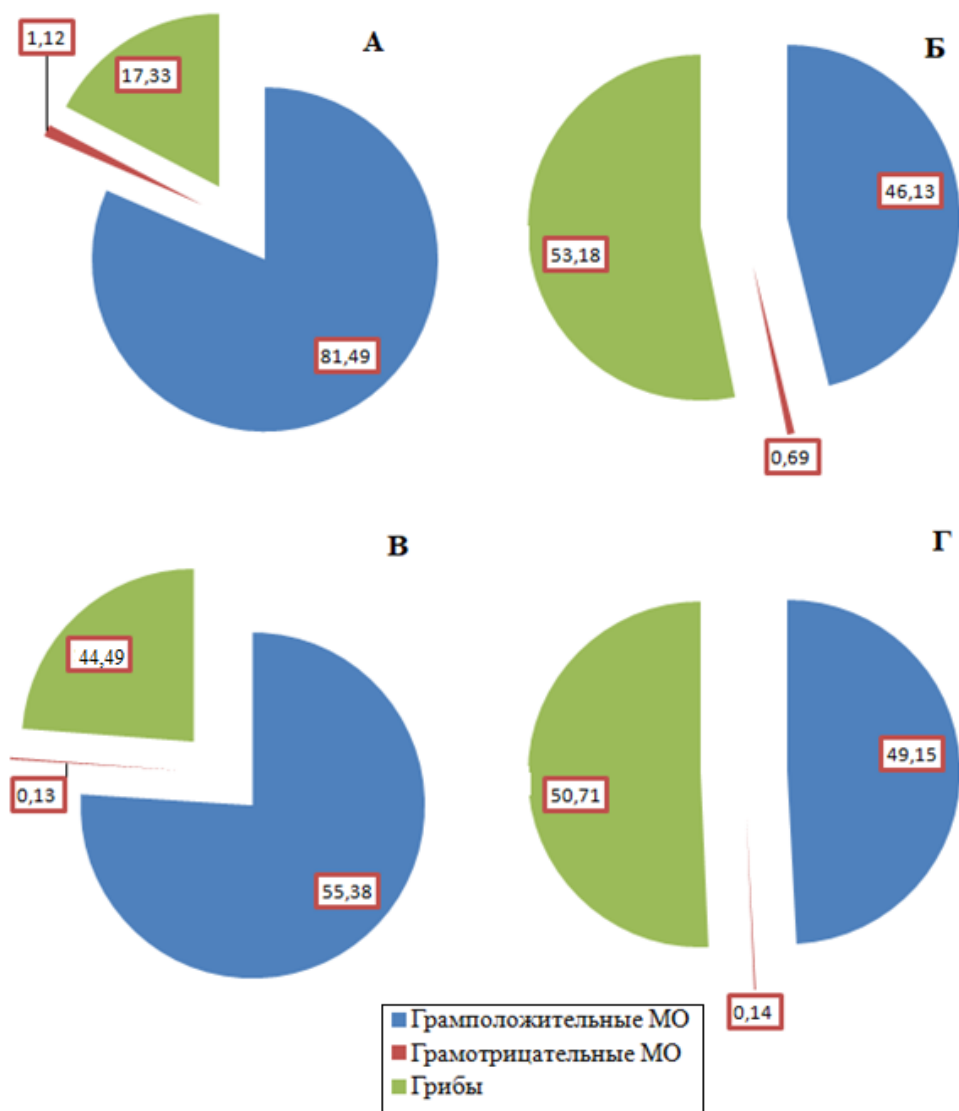


Рис. 1. Доля различных микроорганизмов в поверхностных биопленках, %:
А – вариант 1 (жидкая фракция (ЖФ) без добавок); Б – вариант 2 (ЖФ+КПАВ);
В – вариант 3 (ЖФ+НПАВ); Г – вариант 4 (ЖФ+АПАВ)

Fig. 1. Proportion of various microorganisms in surface biofilms, %:
A – option 1 (liquid fraction (LF) without additives); B – option 2 (LF + cationic surfactant); В – option 3 (LF + nonionic surfactant); D – option 4 (LF + anionic surfactant)

По внешнему виду поверхностные БП разных вариантов существенно отличались друг от друга (рис. 2). На поверхности первого варианта без добавок сформировалась фрагментированная пленка со светлым центром и темными краями; на поверхности варианта с добавкой КПАВ (вариант 2) наблюдали сплошную плотную пленку светло-серого цвета; в вариантах с добавками НПАВ (вариант 3) и АПАВ (вариант 4) пленки были неоднородными по цвету и толщине, на поверхности пленок выделялись участки серого и бурого цветов, а также хорошо выраженные бугристые пятна черного цвета. Однако следует отметить, что самая плотная БП сформировалась в варианте 4.

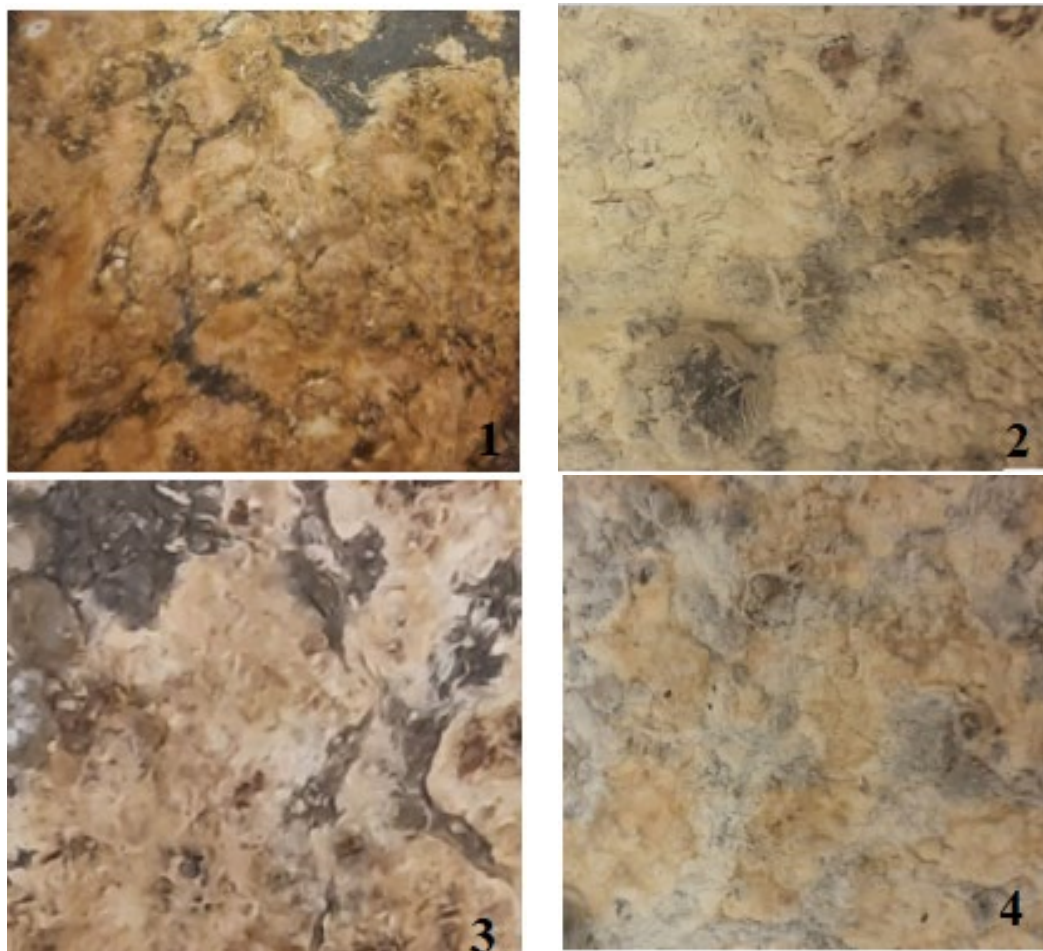


Рис. 2. Внешний вид поверхностных биопленок
(цифры соответствуют вариантам эксперимента)

Fig. 2. Appearance of surface biofilms
(the numbers correspond to the experimental variants)

Основу микробиоты БП, формирующихся на поверхности ЖФ свиных НС, составляют МО, обитающие в желудочно-кишечном тракте, на слизистых оболочках или коже животных. Плесневые грибы *Aspergillus* spp скорее всего попадают в НС с остатками корма. Количественный и качественный состав микробиоты БП разных вариантов приведен в таблице.

Таблица. Состав микробиоты биопленок на поверхности жидкой фракции свиных навозных стоков

Table. Composition of microbiota of biofilms on the surface of the liquid fraction of pig manure effluents

Микроорганизмы	Количество микроорганизмов, КОЕ/мл			
	вариант 1	вариант 2	вариант 3	вариант 4
Грамположительные				
Факультативные анаэробы				
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	$(8,0 \pm 0,8) \cdot 10^4$	не обнаружены		
<i>Lactobacillus</i> spp.	$(2,0 \pm 0,4) \cdot 10^4$	не обнаружены		
Облигатные анаэробы				
<i>Clostridium</i> spp.	$(8,6 \pm 0,4) \cdot 10^5$	$(7,0 \pm 0,8) \cdot 10^5$	$(8,8 \pm 0,6) \cdot 10^5$	$(7,8 \pm 0,3) \cdot 10^5$
<i>Bifidobacterium</i> spp.	$(4,0 \pm 0,5) \cdot 10^3$	не обнаружены		
Грамотрицательные				
Аэробы				
<i>Pseudomonas</i> spp.	$(7,0 \pm 0,7) \cdot 10^2$	$(7,0 \pm 0,4) \cdot 10^1$	$(8,0 \pm 0,4) \cdot 10^1$	не обнаружены
Факультативные анаэробы				
<i>Escherichia coli</i>	$(4,0 \pm 0,3) \cdot 10^3$	$(6,0 \pm 0,7) \cdot 10^2$	$(5,0 \pm 0,9) \cdot 10^2$	$(6,0 \pm 0,3) \cdot 10^2$
<i>Proteus</i> spp.	$(2,0 \pm 0,3) \cdot 10^3$	$(6,0 \pm 0,5) \cdot 10^2$	$(5,0 \pm 0,3) \cdot 10^2$	$(6,0 \pm 0,3) \cdot 10^2$
<i>Klebsiella</i> sp.	$(4,0 \pm 0,5) \cdot 10^2$	$(5,0 \pm 0,7) \cdot 10^2$	$(4,0 \pm 0,6) \cdot 10^1$	$(5,0 \pm 0,5) \cdot 10^1$
Облигатные анаэробы				
<i>Prevotella</i> sp.	$(6,0 \pm 0,4) \cdot 10^3$	$(8,0 \pm 0,5) \cdot 10^3$	$(7,0 \pm 0,8) \cdot 10^1$	$(7,0 \pm 0,7) \cdot 10^1$
<i>Bacteroides</i> sp.	$(3,0 \pm 0,7) \cdot 10^2$	$(6,0 \pm 0,9) \cdot 10^1$	$(7,0 \pm 0,4) \cdot 10^1$	не обнаружены
<i>Fusobacterium</i> sp.	$(5,0 \pm 0,9) \cdot 10^2$	$(7,0 \pm 0,4) \cdot 10^2$	$(8,0 \pm 1,1) \cdot 10^2$	$(7,0 \pm 0,5) \cdot 10^2$
Грибы				
<i>Candida</i> sp.	$(5,0 \pm 0,5) \cdot 10^3$	$(7,0 \pm 0,3) \cdot 10^3$	$(7,0 \pm 0,9) \cdot 10^3$	$(5,0 \pm 0,4) \cdot 10^3$
<i>Aspergillus</i> spp.	$(2,0 \pm 1,1) \cdot 10^5$	$(8 \pm 0,6) \cdot 10^5$	$(7,0 \pm 0,3) \cdot 10^5$	$(8,0 \pm 0,5) \cdot 10^5$

Примечание. Жирным шрифтом выделены варианты эксперимента, достоверно ($P > 0,95$) отличающиеся от варианта контроля

Согласно приведенным в таблице данным наименее устойчивыми к воздействию всех типов СПАВ оказались *Staphylococcus epidermidis*, *Lactobacillus* spp. и *Bifidobacterium* spp. Соответствующие МО исчезли из состава БП во всех экспериментальных вариантах.

К наиболее значительному сокращению биоразнообразия поверхностных БП привела добавка АПАВ. Добавки НПАВ и КПАВ оказались менее эффективными. Выявленный факт, казалось бы, противоречит результатам исследований, подтверждающих выраженные бактерицидные свойства КПАВ [16]. Согласно опубликованным данным антибактериальная активность КПАВ, в частности бензалкония хлорида, обусловлена электростатическим взаимодействием между поверхностно-активным органическим катионом и отрицательно заряженной бактериальной мембраной, приводящим к увеличению проницаемости мембраны, ее

лизису и выходу цитоплазматического содержимого МО клетки во внешнюю среду [17]. В АПАВ поверхностной активностью обладают органические анионы, сорбируемость которых на отрицательно заряженной поверхности МО клеток может быть затруднена. Однако следует иметь в виду, что обитающие в биопленках МО защищены матриксом, основным компонентом которого являются полисахариды. Молекулы полисахаридов в нейтральных водных растворах, благодаря многочисленным гидроксильным группам, приобретают отрицательный заряд, за счет которого происходит электростатическое связывание поверхностно-активных катионов КПАВ. Связанные матриксом КПАВ представляют меньшую опасность для бактериальных клеток. Таким образом, матрикс защищает обитающие в биопленках МО от воздействия КПАВ [18, 19]. Поверхностно-активные анионы АПАВ, благодаря электростатическому отталкиванию, полисахаридами матрикса не связываются и получают доступ к клеткам МО. Центрами адсорбции ПАВ (включая АПАВ) могут выступать гидрофобные участки клеточных стенок МО, с которыми взаимодействуют неполярные части дифильных структур. Адсорбция ПАВ на поверхности клеток приводит к изменению их заряда и гидрофобных свойств, нарушению проницаемости клеточных мембран, снижению барьерных функций, в результате чего жизнеспособность МО уменьшается.

Наиболее высокую устойчивость к воздействию всех типов СПАВ проявили *Clostridium* ssp. и грибы, численность которых в разных вариантах эксперимента практически не изменилась. Высокая устойчивость клостридий к воздействию неблагоприятных факторов обусловлена способностью этих бактерий к спорообразованию. Клетки грибов также защищены от химического воздействия уникальными по строению и свойствам многослойными клеточными стенками [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Синтетические поверхностно-активные вещества широко используются в животноводстве. Согласно результатам выполненных исследований СПАВ оказывают влияние на количественный и качественный состав микроорганизмов, входящих в состав биопленок, формирующихся на поверхности навозных стоков. В вариантах без добавок СПАВ в БП преобладали грамположительные микроорганизмы *Staphylococcus epidermidis*, *Lactobacillus* ssp., *Clostridium* ssp. и *Bifidobacterium* ssp., составляя 81,5 % общей численности всех МО. Внесение в ЖФ СПАВ привело к доминированию в БП грибов *Aspergillus* ssp. и *Candida* sp., что особенно отчетливо проявилось в вариантах с добавками КПАВ (53,2 %) и АПАВ (50,7 %). В этих же вариантах сформировались и самые плотные поверхностные биопленки. Под влиянием СПАВ из БП полностью исчезли *Staphylococcus epidermidis*, *Lactobacillus* ssp. и *Bifidobacterium* ssp., а в варианте с анионоактивным СПАВ – *Bacteroides* sp. и *Pseudomonas* spp. Наиболее значимое сокращение биоразнообразия МО было выявлено в варианте с добавкой АПАВ. Высокую устойчивость к воздействию всех СПАВ проявили *Clostridium* ssp.

КПАВ оказали менее выраженное влияние на микробиоту БП, что может быть обусловлено наличием полисахаридного матрикса, активно сорбирующего катионы и предохраняющего таким образом клетки МО от разрушения.

Результаты выполненных исследований могут найти применение при разработке новых способов обработки навозных стоков с целью улучшения их микробиологических характеристик и снижения отрицательного воздействия на окружающую среду.

Список источников

1. Flemming H. C. Biofouling and me: my Stockholm syndrome with biofilms // *Water Research*. 2020. N 173. P. 115576, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115576>.
2. Влияние мутаций в синтезе липополисахаридов и полисахаридов, связывающих калькофлуор, на формирование биопленок *Azospirillum brasilense* / А. В. Шелудько, О. В. Кулибякина, А. А. Широков, Л. П. Петрова, Л. Ю. Матора, Е. И. Кацы // *Микробиология*. 2008. Т. 77. № 3. С. 358–363.
3. Flemming H. C., Wingender J. The biofilm matrix // *Nature reviews microbiology*. 2010. V. 8. N 9. P. 623–633.
4. Sun P., Gao M., Wu Y. Microflora of surface layers in aquatic environments and its usage // *Clean water and sanitation*. 2020. P. 1–9, https://doi.org/10.1007/978-3-319-70061-8_95-1.
5. Трансформация микробиоты отходов животноводства под влиянием химических реагентов для устранения запаха / Е. П. Колеватых, Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, В. А. Козвонин, Т. Я. Ашихмина // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 4. С. 159–165, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-4-159-165>.
6. Vishwakarma V. Impact of environmental biofilms: industrial components and its remediation // *Journal of Basic Microbiology*. 2020. N 60. P. 198–206, <https://doi.org/10.1002/jobm.201900569>.
7. Positive biofilms to guide surface microbial ecology in livestock buildings / V. Guéneau, J. Plateau-Gonthier, L. Arnaud, J. C. Piard, M. Castex, & Briandet // *Biofilm*. 2022. V. 4. P. 100075, <https://doi.org/10.1016/j.bioflm.2022.100075>.
8. Metagenomic insights into taxonomic, functional diversity and inhibitors of microbial biofilms / M. Imchen, V. T. Anju, S. Busi, S. M. Mohan, P. Subhaswaraj, M. Dyavaiah., R. Kumavath // *Microbiological Research*. 2022. V. 265. P. 127207, <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127207>.
9. Влияние различных типов поверхностно-активных веществ на эмиссию газов и микробиоту жидкой фракции навозных стоков / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, Е. П. Колеватых, В. В. Рутман // *Теоретическая и прикладная экология*. 2023. № 3. С. 59–72, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-3-059-072>.
10. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Роль аммонификаторов в эмиссии аммиака из свиных навозных стоков // *Известия КГТУ*. 2023. № 68. С. 46–54, <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-68-46-54>.
11. Биологическое загрязнение пахотных земель отходами свиноводства / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, В. А. Козвонин, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина, А. В. Сазанов // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 3. С. 199–205, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-199-205>.
12. Goller C. C., Romeo T. Environmental influences on biofilm development // *Bacterial Biofilms*. 2008. V. 322. P. 37–66, https://doi.org/10.1007/978-3-540-75418-3_3.

13. Synthetic and biological surfactant effects on freshwater biofilm community composition and metabolic activity / S. P. Gill, W. R. Hunter, L. E. Coulson, I. M. Banat, & J. Schelker // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2022. V. 106. N 106. P. 6847–6859, <https://doi.org/110.1007/s00253-022-12179-4>.

14. Рыбальченко О. В., Бондаренко В. М., Орлова О. Г. Ультраструктура микробных биопленок при межклеточных взаимоотношениях бактерий в сообществах // *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2014. № 4. С. 87–92.

15. Farm biosecurity measures and interventions with an impact on bacterial biofilms / E. Butucel, I. Balta, D. McCleery, F. Morariu, I. Pe, C. A. Popescu, L. Stef N. Corcionivoschi // *Agriculture*. 2022. V. 12. N 8. P. 1251, <https://doi.org/10.3390/agriculture12081251>.

16. Худяков А. А. Эффективная дезинфекция и подбор дезинфектанта // *Ветеринария Кубани*. 2011. № 5. С. 26–28.

17. Cationic and anionic antimicrobial agents co-templated mesostructured silica nanocomposites with a spiky nanotopology and enhanced biofilm inhibition performance / Y. Song, Q. Sun, J. Luo, Y. Kong, B. Pan, J. Zhao, Wang Yue & C. Yu // *Nano-Micro Letters*. 2022. V. 14. N 1. P. 83.

18. Изучение адсорбционных и кинетических характеристик природных сорбентов по отношению к катионам свинца (II) / Е. О. Куличенко, Л. П. Мыкоц, Н. А. Туховская, Л. В. Лигай, О. А. Андреева, Э. Т. Оганесян // *Химия растительного сырья*. 2019. № 3. С. 335–344.

19. Никифорова Т. Е., Козлов В. А. Закономерности влияния природы полисахаридных материалов на распределение ионов тяжелых металлов в гетерофазной системе биосорбент–водный раствор // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2016. Т. 52. № 3. С. 243–271, <https://doi.org/10.7868/S0044185616030219>.

20. Феофилова Е. П. Клеточная стенка грибов: современные представления о составе и биологической функции // *Микробиология*. 2010. Т. 79. № 6. С. 723–733.

References

1. Flemming H. C. Biofouling and me: my Stockholm syndrome with biofilms. *Water Research*, 2020, no. 173, pp. 115576, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115576>.

2. Sheludko A. V., Kulibyakina O. V., Shirokov A. A., Petrova L. P., Matara L. Yu., Katsy E. I. Vliyanie mutatsiy v sinteze lipopolisakharidov i polisakharidov, svyazyvayushchikh kalkofluor, na formirovanie bioplenok *Azospirillum brasilense* [The effect of mutations affecting synthesis of lipopolysaccharides and calcofluor-binding polysaccharides on biofilm formation by *Azospirillum brasilense*]. *Microbiology*, 2008, vol. 77, no. 3, pp. 358–363.

3. Flemming H. C., Wingender J. The biofilm matrix. *Nature reviews microbiology*, 2010, vol. 8, no. 9, pp. 623–633.

4. Sun P., Gao M., Wu Y. Microflora of surface layers in aquatic environments and its usage. *Clean water and sanitation*, 2020, pp. 1–9, https://doi.org/10.1007/978-3-319-70061-8_95-1.

5. Kolevatykh E. P., Pilip L. V., Syrchina N. V., Kozvonin V. A., Ashikhmina T. Ya. Transformatsiya mikrobioty otkhodov zivotnovodstva pod vliyaniem khimicheskikh reagentov dlya ustraneniya zapakha [Transformation of the microbiota of animal husbandry waste under the influence of chemical reagents to eliminate odor]. *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 4, pp. 159–165, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-4-159-165>.
6. Vishwakarma V. Impact of environmental biofilms: industrial components and its remediation. *Journal of Basic Microbiology*, 2020, no. 60, pp. 198–206, <https://doi.org/10.1002/jobm.201900569>.
7. Guéneau V., Plateau-Gonthier J., Arnaud L., Piard J. C., Castex M. Positive biofilms to guide surface microbial ecology in livestock buildings. *Biofilm*, 2022, vol. 4, pp. 100075, <https://doi.org/10.1016/j.biofilm.2022.100075>.
8. Imchen M., Anju V. T., Busi S., Mohan S. M., Subhaswaraj P., Dyavaiah M. ., Kumavath R. Metagenomic insights into taxonomic, functional diversity and inhibitors of microbial biofilms. *Microbiological Research*, 2022, vol. 265, pp. 127207, <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127207>.
9. Pilip L. V., Syrchina N. V., Kolevatykh E. P., Rutman V. V. Vliyanie razlichnykh tipov poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na emissiyu gazov i mikrobiotu zhidkoy fraktsii navoznykh stokov [Influence of various types of surfactants on gas emissions and microbiota of the liquid fraction of manure effluents]. *Theoretical and Applied Ecology*, 2023, no. 3, pp. 59–72, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-3-059-072>.
10. Pilip L. V., Syrchina N. V. Rol' ammonifikatorov v emissii ammiaka iz svinykh navoznykh stokov [The importance of microorganisms-ammonifiers of manure effluents in the emission of ammonia]. *Izvestiya KGTU*, 2023, no. 68, pp. 46–54, <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-68-46-54>.
11. Pilip L. V., Syrchina N. V., Kozvonin V. A., Kolevatykh E. P., Ashikhmina T. Ya., Sazanov A. V. Biologicheskoe zagryaznenie pakhotnykh zemel' otkhodami svinovodstva [Biological contamination of arable land with pig waste]. *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 3, pp. 199–205, <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-199-205>.
12. Goller C. C., Romeo T. Environmental influences on biofilm development. *Bacterial Biofilms*, 2008, vol. 322, pp. 37–66, https://doi.org/10.1007/978-3-540-75418-3_3.
13. Gill S. P., Hunter W. R., Coulson L. E., Banat I. M., & Schelker J. Synthetic and biological surfactant effects on freshwater biofilm community composition and metabolic activity. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2022, vol. 106, no. 106, pp. 6847–6859, <https://doi.org/10.1007/s00253-022-12179-4>.
14. Rybal'chenko O. V., Bondarenko V. M., Orlova O. G. Ultrastructure of microbial biofilms during intercellular interactions of bacteria in communities [Ultrastruktura mikrobnnykh bioplenok pri mezhkletochnykh vzaimootnosheniyakh bakteriy v soobshchestvakh]. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*, 2014, no. 4, pp. 87–92.
15. Butucel E., Balta I., McCleery D., Morariu F., Pe I., Popescu C. A., Stef L. Corcionivoschi N. Farm biosecurity measures and interventions with an impact on bacterial biofilms. *Agriculture*, 2022, vol. 12, no. 8, pp. 1251, <https://doi.org/10.3390/agriculture12081251>.

16. Khudyakov A. A. Effektivnaya dezinfektsiya i podbor dezinfektanta [Effective disinfection and selection of disinfectant]. *Veterinariya Kubani*, 2011, no. 5, pp. 26–28.
17. Song Y., Sun Q., Luo J., Kong Y., Pan B., Zhao J., Yue Wang & Yu C. Cationic and anionic antimicrobial agents co-templated mesostructured silica nanocomposites with a spiky nanotopology and enhanced biofilm inhibition performance. *Nano-Micro Letters*, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 83.
18. Kulichenko E. O., Mykots L. P., Tukhovskaya N. A., Ligay L. V., Andreeva O. A., Oganesyanyan E. T. Izuchenie adsorbtsionnykh i kineticheskikh kharakteristik prirodnnykh sorbentov po otnosheniyu k kationam svintsya (II) [Study of adsorption and kinetic characteristics of natural sorbents with respect to plumbum (II) ions]. *Khimiya rastitel'noy syr'ya*, 2019, no. 3, pp. 335–344.
19. Nikiforova T. E., Kozlov V. A. Zakonomernosti vliyaniya prirody polisaharidnykh materialov na raspredelenie ionov tyazhelykh metallov v geterofaznoy sisteme biosorbent–vodnyy rastvor [Regularities of the effects of the nature of polysaccharide materials on distribution of heavy metal ions in a heterophase biosorbent-water solution system]. *Protection of metals and physical chemistry of surfaces*, 2016, vol. 52, no. 3, pp. 243–271, <https://doi.org/10.7868/S0044185616030219>.
20. Feofilova E. P. The fungal cell wall: modern concepts of its composition and biological function. *Microbiology*, 2010, vol. 79, no. 6, pp. 711–720.

Информация об авторах

Л. В. Пилип – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры зоогигиены, физиологии и биохимии

Н. В. Сырчина – кандидат химических наук, доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии, старший научный сотрудник лаборатории биомониторинга ВятГУ и Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук

Information about the authors

L. V. Pilip – PhD in Veterinary, Associate Professor of the Department of Zoological Hygiene, Physiology and Biochemistry

N. V. Syrchina – PhD in Chemistry, Associate Professor of the Department of Fundamental Chemistry and Chemistry Teaching Methods, Senior Researcher of the Laboratory of Biomonitoring of Vyatka State University and Komi of the research center of Ural division of the Russian Academy of Sciences

Статья поступила в редакцию 01.11.2023; одобрена после рецензирования 10.11.2023; принята к публикации 16.02.2024.

The article was submitted 01.11.2023; approved after reviewing 10.11.2023; accepted for publication 16.02.2024.