

Трансформация микробиоты отходов животноводства под влиянием химических реагентов для устранения запаха

© 2022. Е. П. Колеватых¹, к. м. н., доцент, зав. кафедрой,
Л. В. Пилип², к. в. н., доцент, Н. В. Сырчина³, к. х. н., доцент, с. н. с.,
В. А. Козвонин^{1,3}, к. м. н., доцент, с. н. с.,
Т. Я. Ашихмина^{3,4}, д. т. н., профессор, г. н. с., зав. лабораторией,
¹Кировский государственный медицинский университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Карла Маркса, д. 112,
²Вятский государственный агротехнологический университет,
610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, д. 133,
³Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,
⁴Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
e-mail: nvms1956@mail.ru, pilip_larisa@mail.ru, ecolab2@gmail.com

Животноводческие предприятия входят в число важнейших источников запахового загрязнения окружающей среды (ОС). Образующиеся на предприятиях отходы (навоз, навозные стоки) под влиянием микроорганизмов разлагаются с образованием широкого спектра летучих соединений, включая аммиак, сероводород, меркаптаны, летучие жирные кислоты, биогенные амины. Снижению эмиссии запахообразующих веществ может способствовать обработка навозных стоков (НС) специальными химическими препаратами, позволяющими снизить численность и уменьшить активность гнилостной микрофлоры. В рамках настоящей работы была выполнена оценка трансформации микробиоты НС под влиянием специализированных препаратов «БИОКТИК» и «BIUS» в сравнении с воздействием на микроорганизмы добавок H₂SO₄ и щелочного раствора NaOCl. В результате проведённых исследований было выявлено, что применение препарата «BIUS» привело к возрастанию количества *Clostridium* ssp. (78,22%), *Escherichia coli* (10,51%) и *Staphylococcus epidermidis* (6,6%), а применение препарата «БИОКТИК» способствовало размножению *Saccharomyces cerevisiae* (88,07%), *Rhodotorula glutinis* (5,87%) и *Peptostreptococcus anaerobius* (1,17%) в НС. При подкислении субстрата серной кислотой до pH 5,5 в НС доминировали *Bacteroides* sp. (53,42%), *S. cerevisiae* (12,02%), *R. glutinis* (12,02%), *Proteus* ssp. (9,35%), *Clostridium* ssp. (5,34%). Внесение в НС NaOCl привело к увеличению численности *S. cerevisiae* (87,91%), *Clostridium* ssp. (10,05%), *R. glutinis* (1,01%). Особый интерес представляет выявление в биоплёнках, образующихся на поверхности НС, дрожжей р. *Rhodotorula*, которые могут служить маркером загрязнения ОС широким спектром экотоксичных соединений. Наименьшее газовыделение наблюдалось в образцах НС, обработанных серной кислотой и гипохлоритом натрия. Применение специализированных препаратов привело к некоторому увеличению объёма выделяющихся газов. Анализ динамики численности и состава микробиоты, а также выявление корреляций между характером микробиоты и процессом газообразования при внесении различных препаратов позволяет оптимизировать способы снижения запахового и микробиологического загрязнения ОС отходами животноводства.

Ключевые слова: запах, препараты для снижения запаха, отходы животноводства, микробиота, экологизация животноводства, обработка навоза.

Transformation of the microbiota of animal husbandry waste under the influence of chemical reagents to eliminate odor

© 2022. Е. П. Kolevatykh¹ ORCID: 0000-0001-6147-3555²
L. V. Pilip² ORCID: 0000-0001-9695-7146², N. V. Syrchina³ ORCID: 0000-0001-8049-6760²
V. A. Kozvonin^{1,3} ORCID: 0000-0002-2447-6949², T. Ya. Ashikhmina^{3,4} ORCID: 0000-0003-4919-0047²
¹Kirov State Medical University,
112, K. Marksa St., Kirov, Russia, 610000,
²Vyatka State Agrotechnological University,
133, Oktyabrsky Prospekt, Kirov, Russia, 610017,

³Vyatka State University,

36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

⁴Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences,

28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,

e-mail: nvms1956@mail.ru, pilip_larisa@mail.ru, ecolab2@gmail.com

The problem of odor pollution caused by the functioning of large livestock facilities does not lose its relevance. Searching solutions to this problem is one of the promising areas of modern science and production. In this regard it is interesting to use chemical reagents and additives for manure effluents in order to reduce the odor load. One of the key problems is the presence of a strong, unpleasant and persistent odor from pig manure and manure effluents formed in large volumes at enterprises. The active production of the gas components underlying this phenomenon is provided by certain types of microorganisms that make up the permanent microbiota of both pig intestines and pig manure. The effectiveness of using drugs to neutralize odors depends on their effect on the change in the microbiological composition of the substrate. The treatment of manure and sewage was carried out with preparations "BIOCTIC" and "BIUS". As an alternative, sulfuric acid and sodium hypochlorite were used, which are the waste products of chlorine production by electrolysis. As a result of the study, it was revealed that the use of "BIUS" led to an increase in *Clostridium* ssp. (78.22%), *Escherichia coli* (10.51%) and *Staphylococcus epidermidis* (6.6%), and the BIOCTIC creates favorable conditions for the reproduction of *Saccharomyces cerevisiae* (88.07%), *Rhodotorula glutinis* (5.87%) and *Peptostreptococcus anaerobius* (1.17%) in manure drains. When using H₂SO₄ in manure drains, *Bacteroides* sp. (53.42%), *S. cerevisiae* (12.02%), *R. glutinis* (12.02%), *Proteus* ssp. (9.35%), *Clostridium* ssp. (5.34%) prevail and the introduction of NaOCl leads to an increase in *S. cerevisiae* (87.91%), *Clostridium* ssp. (10.05%), *R. glutinis* (1.01%). Of particular interest is the detection of yeast of the genus *Rhodotorula* in surface films, which can serve as a marker of environmental pollution by animal waste. The analysis of the dynamics of the microbiota and its correlation with the process of suppressing gas formation during the introduction of various preparations will allow us to establish and use the optimal method for the greening of animal husbandry.

Keywords: smell, pig manure, microbiota, livestock ecology, manure treatment.

Биогенные отходы животноводческих предприятий (навоз, навозные стоки) являются источником эмиссии в окружающую среду широкого спектра разнообразных летучих соединений, многие из которых характеризуются выраженным неприятным запахом и отрицательным воздействием на продуктивность животных, здоровье персонала, а также качество жизни населения территорий, расположенных вблизи от мест содержания животноводческих ферм [1, 2]. К таким соединениям, прежде всего, следует отнести аммиак, сероводород, меркаптаны, летучие жирные кислоты. Запахообразующие (ЗОВ) и токсичные вещества образуются в результате микробиологического разложения содержащихся в отходах органических компонентов, при этом основной вклад в эмиссию газов вносит анаэробная микробиота [3, 4]. Согласно опубликованным данным, основным источником летучих жирных кислот являются бактерии рр. *Eubacterium* и *Clostridium* [5]; ведущими продуцентами аммиака – *C. aminophilum*, *Peptostreptococcus anaerobius* и *C. sticklandii* [6]; сероводорода – диссимилирующие сульфатредуцирующие бактерии рр. *Peptococcus* и *Desulfovibrio*, способные использовать сульфаты в качестве акцепторов электронов [7, 8].

Объем и состав выделяемых в атмосферу продуктов разложения зависят от видового состава населяющих отходы микроорганизмов (МО), их количества и активности протекающих метаболических процессов, что, в свою очередь, детерминируется химическим составом и свойствами субстрата, интенсивностью аэрации, температурой, влажностью, технологическими особенностями накопления, хранения и удаления отходов из помещений для содержания животных [9, 10]. Модификация соответствующих параметров приводит к трансформации микробных сообществ и изменению характера газовой эмиссии [11]. Установление связей между спецификой микробиоты и условиями её существования открывает возможности для управления процессами эмиссии ЗОВ из биогенных отходов. В настоящее время для регулирования численности и состава МО широкое применение находят химические методы, предполагающие обработку навозных стоков (НС) специальными реагентами или препаратами [12, 13].

Цель настоящей работы состояла в изучении воздействия реагентов и препаратов, используемых для снижения запахового загрязнения атмосферного воздуха, на микробиом и интенсивность газовой эмиссии из навозных стоков животноводческих предприятий.

Объекты и методы исследования

Для оценки влияния химических реагентов и специализированных препаратов (далее добавок) на микробиоту, интенсивность газовыделения и запах использовали нативные свиные НС, отобранные из навозных ванн. Влажность НС – 99%, рН – 6,8.

Для обработки НС применяли раствор серной кислоты (H_2SO_4), щелочной раствор гипохлорита натрия ($NaOCl$) и два специализированных препарата промышленного производства, предназначенные для устранения неприятного запаха: «БИОКТИК» и «Ускоритель биологических процессов «VIUS».

Серная кислота и гипохлорит натрия представляли собой отходы производства хлора методом электролиза водного раствора хлорида натрия (ООО «ГалоПолимер Кирово-Чепецк», Кировская обл.). Содержание в отходной H_2SO_4 остаточного хлора – не более 0,01%; Hg – не более $2 \cdot 10^{-4}\%$. Массовая доля NaOH в щелочном растворе гипохлорита натрия: 3–5%, содержание $NaOCl$: 5–9%. Возможность использования соответствующих реагентов для снижения эмиссии ЗОВ из биогенных отходов обоснована в ряде опубликованных работ [13, 14].

Согласно информации, предоставляемой производителями, препараты «БИОКТИК» и «VIUS» позиционируются как безопасные средства, содержащие природные компоненты: ферменты, витамины, аминокислоты, минералы. Обработка биогенных отходов данными препаратами позволяет сократить время утилизации органических отходов, уничтожить неприятные запахи, улучшить очистку сточных вод. О наличии в составе препаратов ароматизаторов и поверхностно-активных веществ (ПАВ) производители не сообщают. Вместе с тем, оба препарата представляли собой жидкости с интенсивным навязчивым запахом, характерным для синтетических ароматизаторов. При встряхивании на поверхности препаратов появлялась устойчивая пена, что свидетельствовало о наличии в их составе ПАВ.

Изучение влияния добавок на микробиоту и эмиссию газов проводили в лабораторных условиях. Навозные стоки помещали в стерильные пластиковые ёмкости (объём ёмкости – 1,5 л; объём НС – 1 л), после чего в НС вносили добавки, согласно вариантам эксперимента.

Варианты эксперимента: 1) НС без добавок (контроль); 2) НС + щелочной раствор гипохлорита натрия: 1 мл/л; 3) НС + раствор

H_2SO_4 (10% масс.) до рН 5,5; 4) НС + «VIUS» (согласно рекомендуемой производителем норме: 5 л концентрата на 1000 м^3 НС); 5) НС + «БИОКТИК» (согласно рекомендуемой норме: 1 л концентрата на 200 м^3 НС).

Препараты «VIUS» и «БИОКТИК» добавляли в виде рабочих растворов, которые готовили из товарных форм концентратов методом разбавления дистиллированной водой. Выделяющиеся газы собирали в пакеты для образцов газа из фторполимерной (PVF) плёнки толщиной 0,05 мм.

В течение эксперимента ёмкости с НС выдерживали в тёмном месте при температуре $21 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, что приближалось к условиям, характерным для навозных ванн. Общая продолжительность эксперимента составила 14 сут (соответствует стандартному времени накопления НС в ваннах). По окончании эксперимента измеряли объём выделившихся газов и оценивали характер запаха. Следует отметить, что содержащиеся в препаратах «VIUS» и «БИОКТИК» ароматизаторы маскировали естественный запах НС, осложняя, таким образом, процесс сенсорной оценки.

Для определения интенсивности и характера запаха органолептическим методом привлекали группу экспертов из 6 человек. Интенсивность запаха оценивали по шкале от 0 (запах отсутствует) до 3 (интенсивный неприятный запах).

Пробы биоплёнки для микробиологических исследований отбирали в стерильные ёмкости с поверхности НС. Отбор проб проводили с соблюдением правил асептики и антисептики. Образцы доставляли в микробиологическую лабораторию, где осуществляли ряд серийных десятикратных разведений, высев материала на стандартные и специализированные питательные среды (модифицированный агаровый чашечный метод ОФС.1.7.2.0008.15) с последующим определением концентрации микробных клеток (КОЕ/г) и идентификацией МО с использованием биохимических тестов АНАЭРОтест 23, ЭНТЕРОтест 24N, СТАФИтест16, СТРЕПТОтест16, КАНДИДА-тест21. Для выделения анаэробных бактерий использовали питательные среды АнаэроАгар, микроанаэроостат, а также газогенерируемые пакеты для создания анаэробнобиоза (температура $37 \text{ }^\circ\text{C}$, время 24–72 сут). Культивирование дрожжей осуществляли на среде Сабуро и жидкой среде специального состава (сахароза, $NaNO_3$, KH_2PO_4 , KCl , $MgSO_4 \cdot 5H_2O$), пробы инкубировали при $26\text{--}30 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 7–14 дней.

Все исследования проводили в трёхкратной повторности. Статистическую обработку результатов выполняли стандартными методами с использованием встроенного пакета программ Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

В результате выполненных исследований установлено, что добавки химических реагентов и специализированных препаратов оказали существенное влияние на общее газыделение и характер запаха НС. Полученные экспериментальные данные приведены в таблице 1.

Исходные НС (1 вариант эксперимента) характеризовались объёмом газыделения на уровне 170 ± 15 мл/л при рН 6,8 и высокой интенсивностью запаха (3 балла). Внесение щелочного раствора NaOCl (вариант 2) в качестве окислителя и регулятора кислотности привело к увеличению рН НС до 7,4, снижению газыделения на 23% (относительно контроля) и уменьшению интенсивности запаха до 1 балла. Добавление отходной H_2SO_4 (вариант 3) привело к более резкому снижению объёма выделяемых газов (на 35%), при этом интенсивность неприятного запаха оценивалась также в 1 балл. Обработка НС препаратами «BIUS» и «БИОКТИК» не повлияла на рН НС. «BIUS» (вариант 4) достаточно эффективно снижал неприятный запах (до 1,5 баллов), однако объём выделяющихся из НС газов при добавлении этого препарата увеличился более чем в 2 раза. Добавка препарата «БИОКТИК» (вариант 5) привела к увеличению объёма выделяющихся газов в 1,3 раза, интенсивность запаха при этом изменилась незначительно – до 2,6 баллов.

На процесс газыделения оказывает влияние плёнка МО (биоплёнка), формирующаяся на поверхности НС. Биоплёнка представлена плотными колониями МО, которые снижают газыделение, изолируя НС от ОС, однако в процессе накопления НС в ваннах целостность биоплёнок постоянно нарушается [15].

Биоплёнки на поверхности НС во всех вариантах эксперимента (рис.), за исключением варианта с добавкой H_2SO_4 , сформировались достаточно быстро (в течение 2–3 сут). В варианте 3 (добавка H_2SO_4) сплошная плёнка появилась только к концу эксперимента, тогда как в других вариантах биоплёнки начали распадаться на отдельные фрагменты (рис., варианты 1, 2, 4, 5). Наиболее выраженная фрагментация плёнок наблюдалась в варианте 5.

Особый практический интерес представляло изучение микробного состава биоплёнок. Микроорганизмы, находящиеся в аэробных условиях на поверхности НС, могут активно использовать кислород для окисления различных органических и неорганических веществ, включая NH_3 , H_2S , летучие жирные кислоты и др., снижая таким образом эмиссию ЗОВ.

Согласно полученным результатам, в НС преобладали анаэробные МО *Clostridium* spp. (91,09%), *Escherichia coli* (6,07%), *Bacteroides* sp. (1,06%), *Sarcina ventriculi* (0,91%) и *Klebsiella* sp. (0,14%). Существенный интерес представляли дрожжи р. *Rhodotorula* (0,11%). Представители данного рода проявляют высокую устойчивость к ультрафиолетовому излучению, благодаря чему могут рассматриваться в качестве маркеров загрязнения ОС отходами животноводства, нефти, ртути, хрома и радиоактивных элементов. Дрожжи

Таблица 1 / Table 1

Влияние химических препаратов на эмиссию и запах газов, выделяющихся из навозных стоков
The effect of chemicals on the emission and odor of gases releasing from manure effluents

Показатель / Index	Вариант эксперимента / Variant of the experiment				
	1 контроль control	2	3	4	5
Объём выделившегося газа, мл на 1 л НС за 14 сут The volume of released gas, mL per 1 liter of manure runoff for 14 days	170±15	130±14	110±10	350±23	220±11
Интенсивность запах через 14 сут после внесения добавок, баллы Odor intensity, 14 days after the introduction of additives, points	3,0±0,2	1,0±0,5	1,0±0,3	1,5±0,4	2,6±0,3

Примечание: жирным шрифтом выделены статистически значимые отличия определяемых показателей от соответствующих показателей контрольного варианта ($p < 0,05$).

Note: statistically significant differences between the determined indicators and the corresponding indicators of the control variant are highlighted in bold ($p < 0,05$).

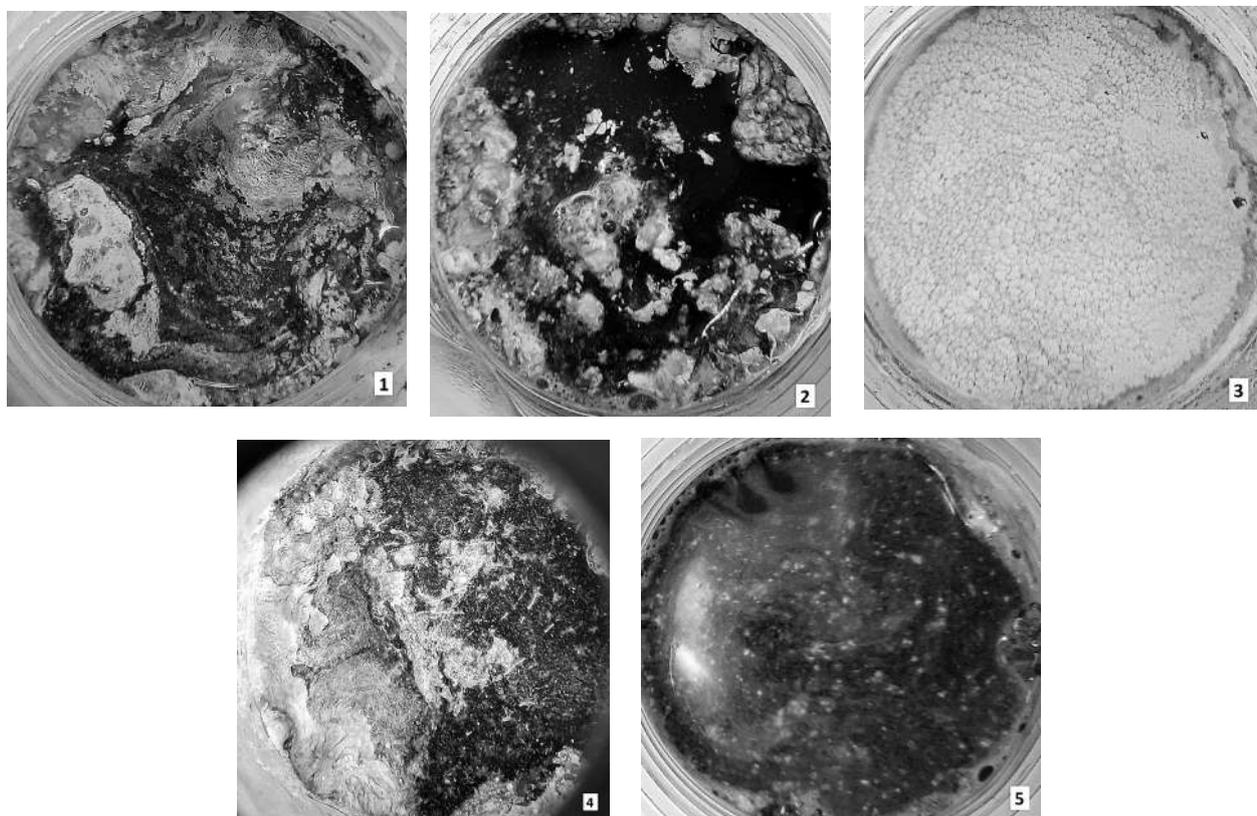


Рис. Биоплёнки на поверхности навозных стоков (1–5 – варианты эксперимента)
 Fig. Biofilms on the surface of manure effluents (1–5 are options of experiment)

р. *Rhodotorula* способны включать в свой метаболизм высокотоксичные полициклические ароматические углеводороды, что крайне важно в плане защиты ОС от соответствующих супертоксикантов.

Используемые для обработки НС реагенты оказали различное влияние на качественный и количественный состав микробиоты. Исходное значение общего количества микроорганизмов (ОКМ) нативных стоков составило $(6,59 \pm 1,17) \cdot 10^7$ КОЕ/мл. Снижение pH до 5,5 за счёт внесения отходной H_2SO_4 уменьшило ОКМ в 8,81 раза – до $(7,50 \pm 0,01) \cdot 10^6$ КОЕ/мл, что коррелирует со снижением общего газовыделения в 1,62 раза. При добавлении реагента окисляющего действия (NaOCl) ОКМ увеличилось в 1,21 раза до значения $(7,96 \pm 1,37) \cdot 10^7$ КОЕ/мл в сравнении с нативными НС, при этом общее газовыделение снизилось в 1,31 раза. Добавление «BIUS» привело к росту ОКМ в 1,16 раза – до $(7,62 \pm 1,18) \cdot 10^7$ КОЕ/мл, а газовыделение возросло в 2 раза. Внесение «БИОКТИК» практически не изменило ОКМ $((6,81 \pm 1,17) \cdot 10^7$ КОЕ/мл), однако газовыделение выросло в 1,3 раза.

Количественные данные микробиологического анализа отобранных образцов НС приведены в таблице 2.

Смещение pH до 5,5 и 7,1 привело к изменению микробиоценоза НС преимущественно за счёт снижения количества клостридий и кишечной палочки. В подкисленных НС преобладали *Bacteroides ovatus*, *B. vulgatus*, *B. fragilis* (53,42%), *Saccharomyces cerevisiae* (12,02%), *Rhodotorula glutinis* (12,02%), *Proteus* ssp. (9,35%), *Clostridium* ssp. (5,34%). При использовании щелочного раствора гипохлорита натрия резко возросло количество *S. cerevisiae* (до 87,91%), *Clostridium* ssp. – до 10,05%, *R. glutinis* – до 1,01% от всех МО данного сообщества.

Вариант с добавкой препарата «BIUS» характеризовался более высоким количеством *Clostridium* ssp. (78,22%), *Escherichia coli* (10,51%) и *Staphylococcus epidermidis* (6,6%). Внесение препарата «БИОКТИК» привело к доминированию *S. cerevisiae* (88,07%), *R. glutinis* (5,87%) и *Peptostreptococcus anaerobius* (1,17%).

Заключение

Согласно полученным результатам к наиболее значительной трансформации микробиоты НС привело подкисление их серной кислотой. Снижение pH до 5,5 способствовало

Таблица 2 / Table 2

Микробиоценоз свиных навозных стоков, КОЕ/мл
Microbiocenosis of pig manure slurry, CFU/mL

Микроорганизмы Microorganisms	Образцы (количество микроорганизмов в 1 мл – КОЕ/мл) Samples (number of microorganisms in 1 mL – CFU / mL)				
	1	2	3	4	5
Факультативные аэробы / Facultative aerobes					
<i>Staphylococcus aureus</i>	(3,0±0,8) · 10 ¹	(2,0±0,3) · 10 ¹	(2,0±0,3) · 10 ¹	(1,0±0,2) · 10 ¹	(7,0±1,8) · 10 ¹
<i>S. epidermidis</i>	(6,0±1,2) · 10 ⁴	(8,0±1,2) · 10 ⁴	(8,0±1,2) · 10 ⁴	(5,0±0,9) · 10⁶	(7,0±0,6) · 10 ⁵
<i>Enterococcus</i> sp.	(7,0±2,3) · 10 ²	(4,0±0,4) · 10 ¹	(8,0±1,1) · 10 ²	(6,0±1,1) · 10 ²	(6,0±0,9) · 10 ¹
<i>Escherichia coli</i>	(4,0±0,9) · 10 ⁶	(7,0±1,1) · 10⁴	(7,0±0,9) · 10⁴	(8,0±0,7) · 10⁶	(7,0±0,7) · 10⁵
<i>Klebsiella</i> sp.	(9,0±2,7) · 10 ⁴	(8,0±1,7) · 10 ⁴	(4,0±0,8) · 10⁴	(6,0±0,5) · 10 ⁴	(7,0±0,9) · 10 ⁴
<i>Proteus</i> ssp.	(6,0±1,7) · 10 ⁴	(5,0±0,8) · 10⁴	(7,0±1,4) · 10⁵	(6,0±0,9) · 10 ⁴	(9,0±1,2) · 10³
Анаэробы / Anaerobes					
<i>Clostridium</i> ssp.	(6,0±1,3) · 10 ⁷	(8,0±1,6) · 10⁶	(4,0±0,8) · 10⁵	(6,0±0,8) · 10 ⁷	(7,0±0,6) · 10⁵
<i>Bacteroides</i> sp.	(7,0±2,1) · 10 ⁵	(7,0±0,5) · 10⁴	(4,0±0,7) · 10⁶	(6,0±1,0) · 10⁴	(9,0±1,1) · 10⁴
<i>Fusobacterium</i> sp.	(7,0±2,7) · 10 ²	(6,0±0,9) · 10³	(6,0±1,2) · 10 ²	(7,0±0,9) · 10 ²	(5,0±0,3) · 10⁴
<i>Prevotella</i> sp.	(5,0±1,2) · 10 ²	(7,0±1,1) · 10³	(4,0±0,8) · 10³	(4,0±0,3) · 10 ²	(4,0±0,5) · 10⁴
<i>Alistipes putredinis</i>	(8,0±2,4) · 10 ²	(9,0±1,9) · 10 ²	(6,0±1,2) · 10³	(7,0±1,1) · 10⁴	(7,0±1,1) · 10⁴
<i>Capnocytophaga ochracea</i>	(9,0±2,8) · 10 ²	(5,0±1,2) · 10⁴	(5,0±0,9) · 10⁴	(6,0±0,9) · 10³	(7,0±1,2) · 10 ²
<i>Peptococcus niger</i>	(4,0±1,4) · 10 ³	(6,0±0,8) · 10⁴	(7,0±1,1) · 10²	(7,0±1,3) · 10⁴	(6,0±0,7) · 10⁴
<i>Peptostreptococcus anaerobius</i>	(6,0±2,1) · 10 ⁴	(7,0±1,1) · 10³	(9,0±2,1) · 10³	(6±0,5) · 10⁵	(8,0±0,6) · 10⁵
<i>Peptoniphilus asaccharolyticus</i>	(9,0±2,7) · 10 ²	(5,0±0,8) · 10⁴	(5,0±0,7) · 10⁴	(7,0±0,9) · 10⁵	(7,0±0,9) · 10³
<i>Sarcina ventriculi</i>	(6,0±1,8) · 10 ⁵	(5,0±0,7) · 10³	(7±1,2) · 10³	(6±0,3) · 10⁴	(6±1,1) · 10⁴
<i>Veillonella parvula</i>	отсутствует / not found				
<i>Anaerococcus prevotii</i>	(9,0±2,4) · 10 ²	(4,0±1,1) · 10⁴	(7±0,9) · 10⁴	(7,0±0,6) · 10⁴	(5,0±0,8) · 10³
<i>Acidaminococcus fermentans</i>	(7,0±1,9) · 10 ³	(5,0±0,9) · 10 ⁴	(6±0,6) · 10 ⁴	(6,0±0,7) · 10 ³	(6,0±1,2) · 10 ²
<i>Bifidobacterium</i> ssp.	(5,0±1,1) · 10 ⁴	(4,0±0,5) · 10 ⁴	(7*±1,1) · 10²	отсутствует not found	(7,0±1,1) · 10³
<i>Lactobacillus</i> ssp.	(7,0±2,1) · 10 ³	(7,0±1,2) · 10⁴	(9±1,4) · 10 ³	(6,0±0,5) · 10 ³	(6,0±0,7) · 10⁵
Аэробы / Aerobes					
<i>Pseudomonas</i> ssp.	(5,0±1,2) · 10 ³	отсутствует not found	отсутствует not found	(7,0±1,2) · 10²	(2,0±0,9) · 10⁴
Грибы / Fungi					
<i>Candida tropicalis</i>	(3,0±1,1) · 10 ⁴	(6,0±1,1) · 10 ⁴	(6,0±0,9) · 10 ⁴	(7,0±0,9) · 10⁵	(9,0±0,8) · 10 ⁴
<i>C. albicans</i>	(7,0±1,9) · 10 ⁴	(4,0±0,7) · 10 ⁴	(7,0±1,3) · 10 ⁴	(6,0±1,1) · 10 ⁴	(5,0±0,6) · 10 ⁴
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	(5,0±1,2) · 10 ⁴	(7,0±0,9) · 10⁷	(9,0±1,5) · 10⁵	(9,0±1,2) · 10 ⁴	(6,0±0,1) · 10⁷
<i>Rhodotorula glutinis</i>	(7,0±2,2) · 10 ⁴	(8,0±1,0) · 10⁵	(9,0±1,1) · 10⁵	(6,0±0,9) · 10⁵	(4,0±0,5) · 10⁶

Примечание: жирным шрифтом выделены статистически значимые отличия определяемых показателей от соответствующих показателей контрольного варианта (p < 0,05).

Note: statistically significant differences between the determined indicators and the corresponding indicators of the control variant are highlighted in bold (p < 0.05).

уменьшению общей численности МО, газообразования и выделения неприятных запахов, преимущественно за счёт подавления активности таких представителей гнилостной микрофлоры, как *Clostridium* ssp., *Peptostreptococcus* sp., *Escherichia coli* и *Peptococcus* sp. Численность

Proteus ssp. и *Bacteroides* sp., метаболизм которых связан с продуцированием NH₃, при подкислении несколько увеличилась, однако в кислой среде летучий NH₃ переходит в нелетучую форму – ион NH₄⁺, благодаря чему эмиссия этого вещества в атмосферу снижается.

Обработка НС щелочным раствором NaOCl привела к снижению общего объёма выделяющихся газов и уменьшению интенсивности запаха. Можно предположить, что соответствующий эффект обусловлен снижением численности *Escherichia coli*, *Clostridium* spp., *Bacteroides* sp. и *Peptostreptococcus* sp.

Использование препаратов «VIUS» и «БИОКТИК» увеличило объём выделяемых газов, общее количество МО при снижении интенсивности неприятного запаха, особенно при применении «VIUS». **Возрастание** общего объёма выделяющихся газов, возможно, обусловлено эмульгированием компонентов навоза, входящими в состав препаратов поверхностно-активными веществами, и, таким образом, повышением биодоступности питательных веществ для МО. Снижение интенсивности запаха под влиянием препаратов, скорее всего, обусловлено маскировкой ЗОВ ароматизаторами. Изменение микробиома НС произошло преимущественно за счёт увеличения численности *Clostridium* spp. (78,22%), *Escherichia coli* (10,51%) и *Staphylococcus epidermidis* (6,6%), не являющимися активными продуцентами компонентов неприятного запаха.

Наиболее эффективным методом профилактики запахового загрязнения является применение серной кислоты. Использование препаратов «VIUS» и «БИОКТИК» не показало их высокой эффективности.

References

1. Ni J.Q., Heber A.J., Sutton A.L., Kelly D.T., Patterson J.A., Kim S.T. Effect of swine manure dilution on ammonia, hydrogen sulfide, carbon dioxide, and sulfur dioxide releases // *Science of the Total Environment*. 2010. V. 408. No. 23. P. 5917–5923. doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.08.031
2. Miller D.U., Farel V.Kh. The composition of pig manure is found by biochemical purpose, composition and accumulation of odorous compounds // *Animal Science*. 2003. No. 81. P. 2131–2138.
3. Mackie R.I., Stroot P.G., Varel V.H. Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste // *Animal Science*. 1998. No. 76. P. 1331–1342. doi: 10.2527/1998.7651331x
4. Gutarowska B., Matusiak R., Borowski S., Rajkowska A., Brycki B. Removal of odorous compounds from poultry manure by microorganisms on perlite – bentonite carrier // *Journal of Environmental Management*. 2014. V. 141. P. 70–76. doi: 10.1016/j.jenvman.2014.03.017
5. Zhu Y., Zheng G., Gao D., Chen T., Wu F., Niu M., Zou K. Odor composition analysis and odor indicator selection during sewage sludge composting // *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2016. V. 66. No. 9. P. 930–940. doi: 10.1080/10962247.2016.1188865
6. Ward B.K., Dufault R.J., Hassell R., Cutulle M.A. Affinity of hyperammonia-producing bacteria to produce bioammonium/ammonia utilizing five organic nitrogen substrates for potential use as an organic liquid fertilizer // *ACS Omega*. 2018. V. 3 No. 9. P. 11817–11822. doi: 10.1021/acsomega.7b02083
7. Whitehead T.R., Spence C., Cotta M.A. Inhibition of hydrogen sulfide, methane, and total gas production and sulfate-reducing bacteria in in vitro swine manure by tannins, with focus on condensed quebracho tannins // *Applied Microbiology Biotechnology*. 2013. No. 97. P. 8403–8409. doi: 10.1007/s00253-012-4562-6
8. St-Pierre B., Wright A.D.G. Implications from distinct sulfate-reducing bacteria populations between cattle manure and digestate in the elucidation of H₂S production during anaerobic digestion of animal slurry // *Applied Microbiology Biotechnology*. 2017. No. 101. P. 5543–5556. doi: 10.1007/s00253-017-8261-1
9. Wi J., Lee S., Kim E., Lee M., Koziel J.A., Ahn H. Evaluation of semi-continuous pit manure recharge system performance on mitigation of ammonia and hydrogen sulfide emissions from a swine finishing barn // *Atmosphere*. 2019. V. 10. No. 4. Article No. 170. doi: 10.3390/atmos10040170
10. Xue S.K., Chen S. Surface oxidation for reducing ammonia and hydrogen sulfide emissions from dairy manure storage // *Transactions of the ASAE*. V. 42. No. 5. P. 1401–1408. doi: 10.13031/2013.13303@1999
11. Pilip L.V., Kozvonin V.A., Syrchina N.V., Kolevatykh E.P., Ashikhmina T.Ya. Effects of acidifying manure effluent on its microbiological characteristics // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 3. P. 161–167 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-161-167
12. Syrchina N.V., Pilip L.V., Ashikhmina T.Ya., Bogatyryova N.N. Rational utilization of sulfuric acid waste generated during chlorine production // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 4. P. 143–148 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-143-148
13. Pilip L.V. Method of air cleaning from odor-forming substances originating from pig complexes // *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktov rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019. No. 4 (101). P. 137–146 (in Russian). doi: 10.24414/0131-5226-2019-10221
14. Terentev Yu.N., Syrchina N.V., Ashikhmina T.Ya., Pilip L.V. Reducing the emission of odorous substances in industrial pig breeding enterprises // *Theoretical and Applied Ecology*. 2019. No. 2. P. 113–120 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-113-120
15. Garankina A.Yu., Kapustina O.A., Kartashova O.L. Regulation of the biofilm formation capacity in opportunistic pathogenic microorganisms // *Vestnik veterinarii*. 2011. No. 4 (59). P. 61–63 (in Russian).