

Влияние подкисления навозных стоков на их микробиологические характеристики

© 2020. Л. В. Пилип¹, к. в. н., доцент,
В. А. Козвонин^{2,3}, к. м. н., с. н. с.,
Н. В. Сырчина², к. х. н., доцент, с. н. с.,
Е. П. Колеватых³, к. м. н., доцент, зав. кафедрой,
Т. Я. Ашихмина^{2,4}, д. т. н., профессор, г. н. с., зав. лабораторией,

¹Вятская государственная сельскохозяйственная академия,
610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, д. 133,

²Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

³Кировский государственный медицинский университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. К. Маркса, д. 112,

⁴Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
e-mail: nvms1956@mail.ru, pilip_larisa@mail.ru, ecolab2@gmail.com

Современное промышленное животноводство является серьёзным источником химического и биологического загрязнения окружающей среды. Особую экологическую опасность представляют навоз животных и навозные стоки в период их накопления и хранения до момента утилизации или внесения в почву. Процессы микробиологической деструкции этих отходов приводят к образованию широкого спектра загрязняющих веществ, в том числе парниковых газов, аммиака, токсичных соединений серы и др. Одним из наиболее простых способов снижения микробиологической активности является подкисление навозных стоков. В результате выполненных экспериментальных исследований установлено, что обработка навозных стоков свиноферм (рН > 6,3) раствором отходной серной кислоты до рН 5,3 приводит к уменьшению количества микроорганизмов в соответствующем отходе в 2,2 раза на 7-е сутки и в 7,8 раза на 14-е сутки эксперимента по сравнению с контрольным (неподкисленным) вариантом. Подкисление приводит к исчезновению *Staphylococcus aureus* и *Proteus* spp., а также резкому снижению численности *Peptostreptococcus* sp. и *Peptoniphilus* sp. в опытных образцах. Внедрение технологии подкисления навозных стоков на крупных свинокомплексах позволит улучшить санитарно-эпидемиологическую и экологическую обстановку в местах их размещения.

Ключевые слова: свиной навоз, микроорганизмы, экология животноводства, обработка навоза, серная кислота.

Effects of acidifying manure effluent on its microbiological characteristics

© 2020. L. V. Pilip¹ ORCID: 0000-0001-9695-7146, V. A. Kozvonin^{2,3} ORCID: 0000-0002-2447-6949,
N. V. Syrchina² ORCID: 0000-0001-8049-6760, E. P. Kolevatykh³ ORCID: 0000-0001-6147-3555,
T. Ya. Ashikhmina^{2,4} ORCID: 0000-0003-4919-0047

¹Vyatka State Agricultural Academy,
133, Oktyabrsky Prospekt, Kirov, Russia, 610017,

²Vyatka State University,
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

³Kirov State Medical University,
112, Karla Marksa St., Kirov, Russia, 610000,

⁴Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
e-mail: nvms1956@mail.ru, pilip_larisa@mail.ru, ecolab2@gmail.com

Modern industrial animal husbandry is a significant source of chemical and biological pollution of the environment. Animal manure and slurry present a particular environmental danger during their accumulation and storage until their disposal or application into the soil. The process of microbiological destruction of these wastes results in a wide range of

pollutants being formed, including greenhouse gases, ammonia, toxic sulfur compounds, and others. One of the easiest ways to reduce microbiological activity is the acidification of manure effluent. As a result of experimental studies, it has been found that the treatment of pig slurry with a solution of waste sulfuric acid with a pH of 6.4 to 5.3 leads to a decrease in the number of microorganisms in the treated wastes by 2.2 times on the 7th day and by 7.8 times on the 14th day of the experiment as compared to the control (non-acidified) samples. Acidification results in the elimination of *Staphylococcus aureus* and *Proteus* sp., as well as a sharp decrease in the number of *Peptostreptococcus* sp. and *Peptoniphilus* sp. in test samples. Implementing techniques for manure acidification on industrial pig farms will improve the sanitary, epidemiological and environmental situation in their locations.

Keywords: pig manure, microorganisms, livestock ecology, manure processing, sulfuric acid.

Современное промышленное животноводство является одним из ведущих источников негативного воздействия на окружающую среду (ОС). К экологическим проблемам, обусловленным функционированием крупных животноводческих комплексов, прежде всего, относятся выброс загрязняющих веществ, способствующих изменению климата, образование отходов, приводящих к химическому и биологическому загрязнению атмосферы, водных объектов и почвы, а также существенное ухудшение качества жизни населения, проживающего на территориях, прилегающих к животноводческим предприятиям [1–3]. Химическое и биологическое загрязнение непосредственно связаны между собой. Навоз животных является питательной средой для развития многочисленных групп микроорганизмов (МО), в том числе патогенных. Активная микробиологическая деструкция органических компонентов происходит на всём пути движения навозных стоков от мест образования до мест использования или утилизации. В настоящее время навоз чаще всего используется в качестве органического удобрения. В почвенных системах (при умеренных нормах внесения соответствующего удобрения) продукты минерализации органических веществ усваиваются растениями и почвенной биотой, благодаря чему негативное воздействие отхода на ОС снижается. Основную экологическую опасность навозные стоки представляют в период их накопления и хранения. Этот период в жизненном цикле отхода является наиболее продолжительным. Загрязняющие вещества, образующиеся в результате микробиологических процессов разложения (аммиак, сероводород, меркаптаны, углекислый газ, метан, летучие органические кислоты, спирты, фенолы и др.), практически беспрепятственно попадают в ОС [4]. Уменьшить эмиссию загрязняющих веществ в этот период можно за счёт регулирования активности и видового состава развивающихся в навозе МО-деструкторов. Исследования в данном направлении приобретают в последние годы особую актуальность

и практическую значимость [5–7]. Результаты соответствующих исследований имеют большое значение для оптимизации систем управления биогенными отходами и снижения негативных экологических последствий, обусловленных деятельностью животноводческих предприятий.

Цель настоящей работы состояла в изучении трансформации микробиологических характеристик навозных стоков свинокомплексов при подкислении соответствующего отхода раствором серной кислоты.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в научно-исследовательских лабораториях Вятской ГСХА, Кировского ГМУ и на базе свиноводческих комплексов Кировской области. Объектами исследования явились свежий (нативный) навоз и навозные стоки свиней 2-месячного возраста. Животные содержались на щелевых пластиковых полах без подстилки. Навозные стоки поступали в навозные ванны, расположенные в подпольном пространстве помещений. Каждые 7–14 дней ванны освобождались путём открытия заслонки пробкового типа (самосплавная система удаления навоза).

Образцы свежего навоза для выполнения исследований отбирали непосредственно после акта дефекации животных. Пробы навозных стоков брали из навозных ванн на 4-й день после их частичного опорожнения. Замер температуры в навозных ваннах производили на глубине 5 см с помощью температурного датчика. Сбор материала осуществляли в стерильные ёмкости.

Для подкисления проб использовали серную кислоту (массовая доля H_2SO_4 87%), образующуюся в качестве отхода производства хлора электрохимическим методом (ООО «ГалоПолимер Кирово-Чепецк»). Кроме серной кислоты, в подкисляющем агенте содержался свободный хлор (0,01% масс.). Из исходной кислоты методом разбавления готовили рабочий раствор с массовой долей

H₂SO₄ 8,7%. Исследования осуществляли при температуре 23,5±0,5 °С, что соответствовало температурному режиму в навозных ваннах. Подкисление проб проводили до рН 5,3±0,1, так как более низкие значения рН вызывают коррозию технологического оборудования. Масса каждой из проб навоза и навозных стоков, используемых для выполнения исследований, составила 0,1 кг. Влажность навоза – 83±2%; навозных стоков – 97±1%; рН образцов свежего (нативного) навоза – 7,6±0,1; навозных стоков – 6,4±0,1.

О количественном и качественном составе микрофлоры судили по результатам микробиологических исследований. Образцы отходов доставлялись в микробиологическую лабораторию в стерильной посуде на 1-й, 7-й и 14-й дни исследования. В лаборатории проводили ряд серийных десятикратных разведений и осуществляли высеивание исследуемого материала на стандартные питательные среды с последующей идентификацией МО. Пробы

инкубировали при 37 °С в течение 24–72 часов. Для создания анаэробных условий использовали микроанаэростат с применением газогенераторных пакетов для поглощения кислорода и образования углекислого газа. Подсчёт выросших колоний (КОЕ/мл) осуществляли глубинным, поверхностным, двухслойным или модифицированным агаровым чашечным методом (ОФС.1.7.2.0008.15 Определение концентрации микробных клеток). Из каждого разведения производили посев на набор чашек с плотной питательной средой методом параллельных высеиваний. При учёте результатов определяли среднее количество колоний, выросших при посеве каждого разведения. Для получения достоверных результатов отбирали чашки, где число колоний бактерий находилось в пределах от 30 до 300, а колоний грибов – от 10 до 100. Для бактериоскопических исследований из колоний МО готовили фиксированные препараты на предметном стекле, окрашивали методом Грама, приме-

Таблица 1 / Table 1
Микробиоценоз навозных стоков и свиного навоза, КОЕ/мл
Microbiocenosis of pig manure and slurry, CFU/mL

№ п/п	Микроорганизмы Microorganisms	Свежий навоз Pig manure	Навозные стоки Pig slurry
Факультативные аэробы / Facultative aerobes			
1.	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	(7±0,9) · 10 ⁵	(7±0,4) · 10 ⁵
2.	<i>Staphylococcus aureus</i>	(7±0,6) · 10 ⁵	(5±0,7) · 10 ⁴
3.	<i>Enterococcus</i> sp.	(8±0,9) · 10 ⁶	(6±0,3) · 10 ⁶
4.	<i>Escherichia coli</i>	(5±1,2) · 10 ⁶	(5±0,4) · 10 ⁶
5.	<i>Klebsiella</i> sp.	(6±0,7) · 10 ⁵	(7±0,5) · 10 ⁶
6.	<i>Proteus</i> spp.	(6±0,5) · 10 ⁵	(6±0,9) · 10 ⁵
7.	<i>Enterococcus</i> spp.	(7±0,9) · 10 ⁶	отсутствуют / not found
8.	<i>Sarcina ventriculi</i>	(5±0,3) · 10 ⁴	
Анаэробы / Anaerobes			
9.	<i>Clostridium</i> spp.	(7±0,8) · 10 ⁶	(7±0,2) · 10 ⁵
10.	<i>Bacteroides fragilis</i>	(7±0,6) · 10 ⁶	(5±0,7) · 10 ⁶
11.	<i>Fusobacterium nucleatum</i>	(7±0,3) · 10 ⁴	(5±0,3) · 10 ⁶
12.	<i>Prevotella</i> (<i>P. bivia</i> , <i>P. intermedia</i>)	(8±0,7) · 10 ⁵	(7±0,9) · 10 ⁵
13.	<i>Alistipes putredinis</i> (<i>A. putredinis</i>)	(7±0,6) · 10 ⁵	(5±0,6) · 10 ⁴
14.	<i>Peptococcus</i> sp. (<i>P. niger</i>)	(5±0,3) · 10 ⁶	отсутствует / not found
15.	<i>Peptostreptococcus</i> sp. (<i>P. anaerobius</i>)	(7±0,8) · 10 ⁶	(7±0,3) · 10 ⁹
16.	<i>Peptoniphilus</i> sp. (<i>P. asaccharolyticus</i>)	(5±0,7) · 10 ⁹	(5±0,9) · 10 ⁹
17.	<i>Veillonella parvula</i>	(8±0,6) · 10 ³	отсутствуют / not found
18.	<i>Acidaminococcus fermentans</i>	(7±0,3) · 10 ⁵	
19.	<i>Anaerococcus prevotii</i>	(7±0,9) · 10 ⁶	
20.	<i>Bifidobacterium</i> spp.	(6±0,2) · 10 ⁹	
21.	<i>Lactobacillus</i> spp.	(7±0,6) · 10 ⁸	
Грибы / Fungi			
22.	<i>Saccharomyces</i> spp.	(6±0,9) · 10 ⁸	отсутствует / not found
23.	<i>Candida</i> sp.	(8±0,3) · 10 ⁸	(8±0,7) · 10 ³

няли иммерсионную световую микроскопию. Эксперимент проводили в 3-х повторностях. Статистический анализ экспериментальных данных выполняли в программном комплексе STATISTICA.

Результаты и обсуждение

Данные микробиологического анализа отобранных образцов навоза и навозных стоков приведены в таблице 1.

Согласно полученным данным, видовой состав МО свежего свиного навоза более разнообразен, чем видовой состав навозных стоков, что, возможно, обусловлено использованием дезинфектантов для обработки навозных ванн в период их полного опорожнения и неблагоприятными условиями для существования некоторых видов МО вне живого организма. Важную роль в разложении компонентов навоза и газообразовании играют анаэробные или факультативно анаэробные виды бактерий, что обусловлено анаэробными условиями толстого кишечника свиней. Для питания МО используют различные субстраты, содержащие белки и некрахмальные полисахариды [8]. Так, согласно нашим исследованиям, в свежем свином навозе выявлено 12 видов бактерий анаэробов и 10 видов факультативных аэробов с преобладанием *Bifidobacterium* spp., *Peptoniphilus asaccharolyticus* и *Lactobacillus* spp. Полученные результаты отчасти согласуются с данными других исследований [9], в которых отмечается, что наиболее доминирующими родами в свежем свином навозе являются *Clostridium*, *Turicibacter*, *Streptococcus*, *Lactobacillus* и *Corynebacterium*.

В результате наших исследований в навозных стоках выделено 6 видов анаэробов и 7 видов факультативных аэробов, при этом стоки характеризуются отсутствием анаэробных кокков *Bifidobacterium* spp., *Peptococcus* sp., *Veillonella parvula*, *Acidaminococcus fermentans*, *Anaerococcus prevotii* и факультативных аэробных кокков *Enterococcus* spp., *Sarcina venticuli*, а также анаэробных палочек *Lactobacillus* spp. и грибов *Saccharomyces* spp. Вместе с тем, в навозных стоках, по сравнению с навозом, увеличивается численность таких МО, как *Klebsiella* sp., *Fusobacterium nucleatum*, *Peptostreptococcus* sp. (*P. anaerobius*). Данные МО могут обладать повышенной устойчивостью к антимикробным препаратам, что повышает их опасность в плане биологического загрязнения ОС. В феврале 2017 г. ВОЗ причислила клебсиеллы (*Klebsiella* sp.) к наиболее опасным бактериям

в связи с резистентностью к существующим антибиотикам [10].

В качестве факторов, ограничивающих микробиологические процессы разложения навоза, выступают температура, наличие/отсутствие кислорода, pH, наличие субстрата для питания [9, 11–13]. Создание условий, ограничивающих размножение данных бактерий, может способствовать снижению интенсивности биологического загрязнения ОС и уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [14, 15]. Наиболее простым и экономичным способом снижения численности МО в биогенных отходах и, следовательно, интенсивности процессов разложения органического субстрата, является регулирование pH. Подкисление навоза оказывает неблагоприятное воздействие на активность не кислотоустойчивых микроорганизмов, в процессе жизнедеятельности которых образуются дурнопахнущие органические вещества, парниковые газы, аммиак.

Влияние подкисления на общее количество МО в образцах навозных стоков представлено на рисунке.

Согласно полученным данным, в процессе хранения навозных стоков отмечается снижение общего количества МО как в опытной, так и контрольной группе образцов. На 7-е сутки исследований общее количество МО снизилось в опытном образце в 3,8 раза, в контрольном – в 1,8 раза по сравнению с 1-ми сутками. На 14-е сутки в опытном образце разница стала более существенной, и составила $0,99 \cdot 10^9$ КОЕ/мл, что в 12 раз ниже начального уровня. В контрольном образце количество МО достигло $7,76 \cdot 10^9$ КОЕ/мл (в 1,6 раза ниже исходного уровня). Подкисление навоза привело к уменьшению количества МО в 2,2 раза на 7-е сутки и в 7,8 раза на 14-е сутки в опытном образце по отношению к контрольному. В таблице 2 приведены данные о влиянии подкисления на микробиоценоз навозных стоков.

Отдельные виды МО (*Enterococcus* sp., *Klebsiella* sp., *P. bivia*, *P. intermedia*, *Alistipes putredinis*), присутствующие в стоках изначально, не обнаруживаются на 7-е и 14-е сутки ни в опытной, ни в контрольной группах. Данное явление может быть связано с отсутствием соответствующего пищевого субстрата для данных видов МО и изменением физико-химических параметров среды обитания вне организма животных. Количество *S. epidermidis* возрастает незначительно и не имеет значимых отличий в пробах из опытной и контрольной групп. При этом более опасный

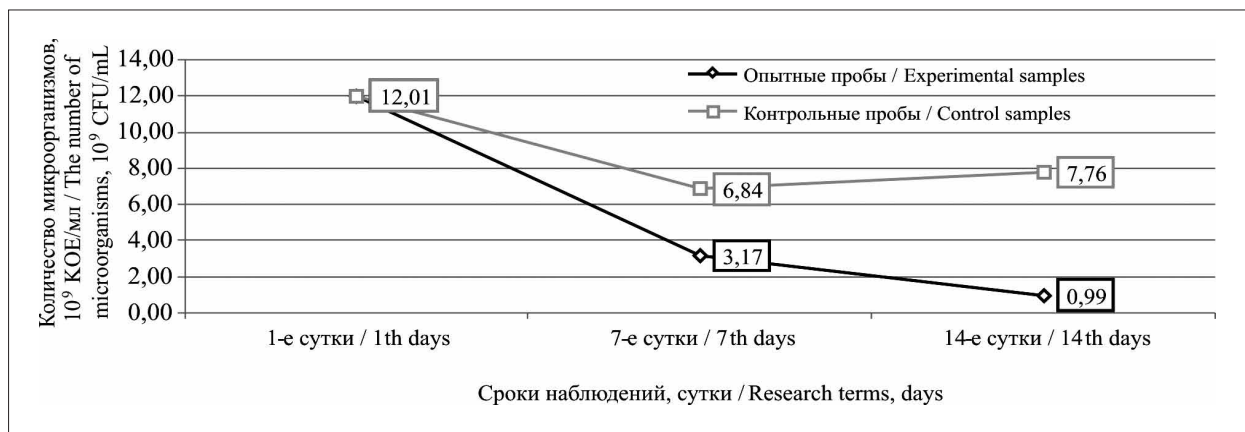


Рис. Влияние подкисления на общее количество микроорганизмов, 10⁹ КОЕ/мл
Fig. Effect of acidification on the total number of microorganisms, 10⁹ CFU/mL

Таблица 2 / Table 2
 Влияние подкисления на микробиоценоз навозных стоков, КОЕ/мл
 The effect of acidification on the microbiocenosis of pig slurry, CFU/mL

№ п/п	Микроорганизмы Microorganisms	Исходное число микроорганизмов Initial microbial population	Опытные пробы Test samples		Контрольные пробы Control samples	
			0-й день 0th day	7-й день 7th day	14-й день 14th day	7-й день 7th day
Факультативные аэробы / Facultative aerobes						
1.	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	$(7 \pm 0,4) \cdot 10^5$	$(6 \pm 0,8) \cdot 10^{7**}$	$(5 \pm 0,9) \cdot 10^{6*}$	$(6 \pm 0,3) \cdot 10^{6*}$	$(7 \pm 0,4) \cdot 10^{6*}$
2.	<i>Staphylococcus aureus</i>	$(5 \pm 0,8) \cdot 10^4$	отсутствует / not found		$(5 \pm 0,6) \cdot 10^4$	$(8 \pm 0,3) \cdot 10^4$
3.	<i>Enterococcus</i> sp.	$(6 \pm 0,9) \cdot 10^6$	отсутствует / not found			
4.	<i>Escherichia coli</i>	$(5 \pm 0,7) \cdot 10^6$	$(5 \pm 0,2) \cdot 10^6$	$(6 \pm 0,2) \cdot 10^{7*}$	$(7 \pm 0,6) \cdot 10^{7*}$	$(8 \pm 0,5) \cdot 10^{9**}$
5.	<i>Klebsiella</i> sp.	$(7 \pm 0,3) \cdot 10^6$	отсутствует / not found			
6.	<i>Proteus</i> spp.	$(6 \pm 0,5) \cdot 10^5$	отсутствует / not found		$(6 \pm 0,8) \cdot 10^{7*}$	$(6 \pm 0,8) \cdot 10^{7**}$
Анаэробы / Anaerobes						
7.	<i>Clostridium</i> spp.	$(7 \pm 0,9) \cdot 10^5$	$(6 \pm 0,7) \cdot 10^{7**}$	$(7 \pm 0,5) \cdot 10^{8**}$	$(7 \pm 0,9) \cdot 10^{9***}$	$(6 \pm 0,9) \cdot 10^{9**}$
8.	<i>Bacteroides fragilis</i>	$(5 \pm 0,3) \cdot 10^6$	$(6 \pm 0,4) \cdot 10^{6*}$	$(7 \pm 0,6) \cdot 10^{6*}$	$(7 \pm 0,3) \cdot 10^{7*}$	$(8 \pm 0,2) \cdot 10^{7*}$
9.	<i>Fusobacterium nucleatum</i>	$(5 \pm 0,7) \cdot 10^6$	$(7 \pm 0,3) \cdot 10^6$	$(5 \pm 0,6) \cdot 10^{8*}$	$(5 \pm 0,8) \cdot 10^{7*}$	$(7 \pm 0,3) \cdot 10^{8**}$
10.	<i>Prevotella</i> (<i>P. bivia</i> , <i>P. intermedia</i>)	$(7 \pm 0,3) \cdot 10^5$	отсутствует / not found			
11.	<i>Alistipes putredinis</i> (<i>A. putredinis</i>)	$(5 \pm 0,4) \cdot 10^4$	отсутствует / not found			
12.	<i>Peptostreptococcus</i> sp. (<i>P. anaerobius</i>)	$(7 \pm 0,6) \cdot 10^9$	$(7 \pm 0,9) \cdot 10^6$	$(6 \pm 0,7) \cdot 10^{5***}$	$(8 \pm 0,3) \cdot 10^{7*}$	$(6 \pm 0,5) \cdot 10^{7**}$
13.	<i>Peptoniphilus</i> sp. (<i>P. asaccharolyticus</i>)	$(5 \pm 0,9) \cdot 10^9$	$(6 \pm 0,3) \cdot 10^{5**}$	$(8 \pm 0,4) \cdot 10^{6**}$	$(5 \pm 0,2) \cdot 10^{6*}$	$(7 \pm 0,9) \cdot 10^{5**}$
Грибы / Fungi						
14.	<i>Candida</i> sp.	$(8 \pm 0,7) \cdot 10^3$	$(8 \pm 0,5) \cdot 10^{7**}$	$(7 \pm 0,4) \cdot 10^{6**}$	$(6 \pm 0,5) \cdot 10^{7**}$	$(7 \pm 0,6) \cdot 10^{6**}$

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ – в сравнении с исходной численностью микроорганизмов.
 Note: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ as compared to initial microbial population.

в эпидемиологическом отношении *S. aureus* полностью исчезает в подкисленных до pH 5,3 образцах на 7-е и 14-е сутки, давая рост в контрольных, с небольшим увеличением в сравнении с исходным уровнем. Аналогичная картина отмечена и для *Proteus* spp. Протеи рассматривают как показатель фекального загрязнения ОС. Среди свойств данных МО наиболее интересна способность синтезировать индолы и фермент уреазу, которая, в свою очередь, расщепляет мочевины с образованием аммиака. Подкисление приводит к снижению количества колоний, а, следовательно, и уменьшению газообразования.

Рост *E. coli*, *Clostridium* spp., *B. fragilis*, *F. nucleatum* более интенсивен в контрольных образцах, хотя умеренное увеличение количества бактерий в сравнении с исходным уровнем фиксируется и в опытной группе. Бактерии данных родов активно продуцируют летучие жирные кислоты, аммиак и летучие амины, а также индолы и фенолы. Снижение pH навозных стоков способствует подавлению активности соответствующих МО и, соответственно, уменьшению образования газообразных загрязняющих веществ в целом. Следует отметить резкое снижение количества *Peptostreptococcus* sp. и *Peptoniphilus* sp. в подкисленных образцах, особенно на 14-е сутки в сравнении с исходным уровнем. Данная тенденция наблюдается и в группах контроля, однако менее выражена. Количество грибов рода *Candida* значительно увеличивается на 7-е сутки в опытных образцах по сравнению с исходным уровнем и пробами группы контроля.

Заключение

Микробиологическое разнообразие нативного свиного навоза и навозных стоков отличается как в количественном, так и видовом составе. Свежий навоз более разнообразен по видовому составу, в нём было выделено 12 видов анаэробных и 10 факультативно аэробных бактерий с преобладанием *Bifidobacterium* spp., *Lactobacillus* spp., *Peptoniphilus* sp. Микробиоценоз навозных стоков представлен 6 видами анаэробов и 7 видами факультативных аэробов преимущественно *Peptostreptococcus* sp. и *Peptoniphilus* sp. В нём отсутствуют *Bifidobacterium* spp., *Lactobacillus* spp., *Peptococcus* sp., *Veillonella parvula*, *Acidaminococcus fermentans*, *Anaerococcus prevotii*, *Enterococcus* spp. В навозных стоках, по сравнению с навозом, увеличивается численность *Klebsiella* sp., *Fu-*

sobacterium nucleatum, *Peptostreptococcus* sp. (*P. anaerobius*).

Применение методики подкисления свиных навозных стоков до pH 5,3 достоверно уменьшает общее количество МО в 2,2 раза на 7-е сутки и в 7,8 раза на 14-е сутки. Из навозных стоков полностью исчезают имеющие санитарно-эпидемиологическое значение *Staphylococcus aureus* и *Proteus* spp., а также уменьшается количество *Peptostreptococcus* sp., *Escherichia coli*, *Clostridium* spp., *B. fragilis*, *Fusobacterium nucleatum*, *Peptoniphilus* sp.

Использование технологии подкисления навозных стоков на свиноводческих предприятиях позволит существенно уменьшить экономические затраты на вентилирование и отопление помещений для содержания животных и улучшить санитарно-эпидемиологические показатели отходов свиноводства, что в свою очередь снизит экологическую нагрузку на ОС.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка и прогноз отсроченного техногенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № 0414-2018-0003.

References

1. Powers W.J. Keeping science in environmental regulations: the role of the animal scientist // Journal of Dairy Science. 2003. V. 86. No. 4. P. 1045–1051. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73688-1
2. Zhu J. A review of microbiology in swine manure odor control // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2000. V. 78. P. 93–106. doi: 10.1016/S0167-8809(99)00116-4
3. Cook K.L., Rothrock Jr.M.J., Loughrin J.H., Doerner K.C. Characterization of skatole-producing microbial populations in enriched swine lagoon slurry // FEMS Microbiology Ecology. 2007. V. 60. No. 2. P. 329–340. doi: 10.1111/j.1574-6941.2007.00299.x
4. Whitehead T.R., Cotta M.A. Isolation and identification of hyper-ammonia producing bacteria from swine manure storage pits // Current Microbiology. 2004. V. 48. No. 1. P. 20–26. doi: 10.1007/s00284-003-4084-7
5. Whitehead T.R., Cotta M.A. Characterisation and comparison of microbial populations in swine faeces and manure storage pits by 16S rDNA gene sequence analyses // Anaerobe. 2001. V. 7. No. 4. P. 181–187. doi: 10.1006/anae.2001.0388
6. Terentyev 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

7. Cotta M.A., Whitehead T.R., Zeltwanger R.L. Isolation, characterization and comparison of bacteria from swine faeces and manure storage pits // *Environ Microbiol.* 2003. V. 5. No. 9. P. 737–745. doi: 10.1046/j.1467-2920.2003.00467
8. Mackie R.I., Stroot P.G., Varel V.H. Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste // *Journal of Animal Science.* 1998. No. 76. P. 1331–1373. doi: 2527/1998.7651331
9. Lim J., Yang S.H., Kim B., Lee E.Y. Comparison of microbial communities in swine manure at various temperatures and storage times // *Environment and Management Asian-Australasian Journal of Animal Sciences.* 2018. V. 31. No. 8. P. 1373–1380. doi: 10.5713/ajas.17.0704
10. WHO publishes list of bacteria for which new antibiotics are urgently needed [Internet resource] <https://www.who.int/en/news-room/detail/27-02-2017-who-publishes-list-of-bacteria-for-which-new-antibiotics-are-urgently-needed> (Accessed: 30.05.2020).
11. Marti R., Dabert P., Pourcher A., Pig C. Manure contamination marker selection based on the influence of biological treatment on the dominant fecal microbial groups // *Applied and Environmental Microbiology.* 2009. V. 75. No. 15. P. 4967–4974. doi: 10.1128/AEM.01895-09
12. Zhang D., Yuan X., Guo P., Suo Y., Wang X., Wang W., Cui Z. Microbial population dynamics and changes in main nutrients during the acidification process of pig manures // *J. Environ. Sci. (China).* 2011. No. 23. P. 497–505. doi: 10.1016/s1001-0742(10)60434-2
13. Munch B., Larsen H.E., Aalbæk B. Experimental studies on the survival of pathogenic and indicator bacteria in aerated and non-aerated cattle and pig slurry // *Biol. Wastes.* 1987. V. 22. No. 1. P. 49–65. doi: 10.1016/0269-7483(87)90099-1
14. Hur M., Kim Y., Song H.R., Kim J.M., Choi Y.I., Yi H. Effect of genetically modified poplars on soil microbial communities during the phytoremediation of waste mine tailings // *Applied and Environmental Microbiology.* 2011. No. 77. P. 7611–7620. doi: 10.1128/AEM.06102-11
15. Peu P., Brugère H., Pourcher A.M., Kérourédan M., Godon J.J., Delgenès J.P., Dabert P. Dynamics of a pig slurry microbial community during anaerobic storage and management // *Applied and Environmental Microbiology.* 2006. No. 72. P. 3578–3585. doi: 10.1128/AEM.72.5.3578-3585.2006