

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЗАПАХОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТХОДАМИ СВИНОВОДСТВА

Л. В. ПИЛИП

ФГБОУ ВО Вятский государственный агротехнологический университет,
г. Киров, Российская Федерация, 610017

Н. В. СЫРЧИНА

ФГБОУ ВО Вятский государственный университет,
г. Киров, Российская Федерация, 610000

(Поступила в редакцию 11.02.2022)

Изучено влияние различных химических препаратов на эмиссию запахообразующих веществ из жидкой фракции (ЖФ) навозных стоков свиноводческих комплексов. В качестве объектов исследования использовали специализированные препараты «BIUS» и «БИОКТИК», предназначенные для уничтожения неприятного запаха, а также растворы серной кислоты (H_2SO_4) и щелочного гипохлорита натрия ($NaOCl$), проявляющие выраженные бактерицидные свойства за счет изменения pH среды или деструкции органических веществ (характерно для $NaOCl$). Растворы H_2SO_4 и $NaOCl$ представляли собой отходы производства хлора методом электролиза раствора $NaCl$ что снизило расходы на приобретение реагентов в 10 раз. «BIUS» и «БИОКТИК» использовали в рекомендуемых производителем дозировках; H_2SO_4 вносили в ЖФ в виде 10 % раствора до pH 5,5; раствор $NaOCl$ добавляли из расчета 1 мл/л ЖФ. Интенсивность и гедонистический тон запаха оценивала группа экспертов органолептическим методом. В результате исследований установлено, что все изученные препараты оказывают определенное влияние на характер и интенсивность запаха. «BIUS» и «БИОКТИК» эффективно маскируют запах, но не снижают эмиссию NH_3 и H_2S . Обработка ЖФ растворами H_2SO_4 и $NaOCl$ способствует снижению интенсивности запаха за счет подавления эмиссии NH_3 и H_2S . Подкисление ЖФ серной кислотой до pH 5,5 снижает выделение NH_3 на 60–70 %; выделение H_2S – на 15–20 %. Эффективность применения $NaOCl$ в изученной дозировке незначительно уступала эффективности H_2SO_4 . Выполненные исследования показали принципиальную возможность и достаточную эффективность использования таких отходов производства, как H_2SO_4 и $NaOCl$, для обработки навозных стоков свиноферм с целью улучшения микроклимата в помещениях для содержания животных и снижения запаха загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: *запахое загрязнение, промышленное свиноводство, серная кислота, гипохлорит натрия, окружающая среда.*

The influence of various chemicals on the emission of odor-forming substances from the liquid fraction (LF) of manure runoff from pig-breeding complexes was studied. The objects of study were specialized preparations "BIUS" and "БИОКТИК", designed to eliminate unpleasant odors, as well as solutions of sulfuric acid (H_2SO_4) and alkaline sodium hypochlorite ($NaOCl$),

which exhibit pronounced bactericidal properties due to changes in the pH of the medium or the destruction of organic substances (characteristic of NaOCl). Solutions of H_2SO_4 and NaOCl were waste products from the production of chlorine by electrolysis of a NaCl solution, which reduced the cost of purchasing reagents by 10 times. "BIUS" and "BIOKTIK" were used in the dosages recommended by the manufacturer; H_2SO_4 was added to LF in the form of a 10% solution up to pH 5.5; NaOCl solution was added at the rate of 1 ml/l of LF. The intensity and hedonistic tone of the odor was evaluated by a group of experts using an organoleptic method. As a result of the research, it was found that all the studied drugs have a certain effect on the nature and intensity of the smell. "BIUS" and "BIOKTIK" effectively mask the smell, but do not reduce the emission of NH_3 and H_2S . The treatment of LF with solutions of H_2SO_4 and NaOCl helps to reduce the odor intensity by suppressing the emission of NH_3 and H_2S . Acidification of LF with sulfuric acid to pH 5.5 reduces the release of NH_3 by 60–70 %; release of H_2S – by 15–20 %. The effectiveness of NaOCl in the studied dosage was slightly inferior to that of H_2SO_4 . The performed studies have shown the fundamental possibility and sufficient efficiency of using such production wastes as H_2SO_4 and NaOCl for the treatment of manure runoff from pig farms in order to improve the microclimate in the premises for keeping animals and reduce odor pollution of the environment.

Key words: odor pollution, industrial pig breeding, sulfuric acid, sodium hypochlorite, environment.

Ведение. Современное промышленное свиноводство приводит к масштабному загрязнению окружающей среды (ОС) широким спектром разнообразных химических соединений, в число которых входят вещества с неприятным запахом. Основным источником эмиссии запахообразующих веществ (ЗОВ) является навоз животных. К приоритетным химическим загрязнителям воздуха на свиноводческих комплексах можно отнести аммиак (NH_3), сероводород (H_2S) и меркаптаны [1, 2]. Неприятный запах свиного навоза формируют не только приоритетные ЗОВ, но и широкий спектр других веществ, образующихся при разложении соответствующего отхода. Количественная оценка компонентного состава и степени выраженности запаха представляет серьезную проблему. Наиболее активные исследования в этом направлении проводятся в странах с развитым свиноводством [3, 4].

Запаховое загрязнение (ЗЗ) атмосферного воздуха вызывает многочисленные жалобы населения, проживающего вблизи животноводческих предприятий. При определенных метеорологических условиях, навязчивый неприятный запах может ощущаться на расстоянии до 5 и более км от источника выбросов, что существенно превышает установленные размеры санитарных защитных зон. ЗЗ оказывает негативное влияние не только на население, но и на персонал свиноводческих предприятий. Согласно опубликованным данным, в экономически развитых регионах до 25 % работников животноводства страдают от той или иной нозологической формы заболеваний дыхательной системы, ассоциированной с условиями труда [5]. Загрязнение воздуха токсич-

ными продуктами разложения приводит к ухудшению здоровья и существенному уменьшению продуктивности животных [6]. Для снижения рисков неблагоприятного воздействия животноводческих комплексов на качество воздуха приходится ужесточать санитарные нормы и требования, предъявляемые к составу атмосферных выбросов, что приводит к дополнительным экономическим затратам и повышению себестоимости продукции [7]. Попытки решить проблему устранения неприятных запахов предпринимаются учеными и специалистами разных стран на протяжении многих лет. Для снижения ЗЗ находят применение физические, физико-химические, микробиологические и химические методы, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки [8, 9, 10]. Для практического животноводства наибольший интерес представляют низкокзатратные технологии, способствующие снижению выделения ЗОВ и улучшению условий содержания животных. Чаще всего такие технологии базируются на применении химических веществ, способных разрушать, связывать или маскировать ЗОВ. Поскольку стоимость мероприятий по борьбе с неприятными запахами достаточно велика, каждое животноводческое предприятие заинтересовано в выборе наиболее эффективных, безопасных и экономичных методов.

Цель настоящей работы состояла в оценке эффективности различных химических препаратов, предназначенных для устранения запахов в условиях животноводческих предприятий.

Основная часть. В качестве объектов исследования были выбраны специализированные препараты для устранения запаха «Ускоритель Биологических Процессов «BIUS» и «БИОКТИК», а также серная кислота (H_2SO_4) и гипохлорит натрия ($NaOCl$). Поскольку H_2SO_4 и $NaOCl$ гарантированно снижают микробиологическую активность и отличаются низкой стоимостью, сравнительная оценка их эффективности с эффективностью специализированных препаратов представляет большой практический интерес.

Препарат «BIUS» (ООО «Биомикс», г. Нижний Новгород), согласно информации производителя, предназначен для удаления неприятных запахов (в том числе запаха сероводорода, тиолов, аммиака и других соединений), образующихся в результате жизнедеятельности людей, сельскохозяйственных животных и птицы. Препарат представляет собой смесь ферментов и питательных веществ, включая минеральные элементы и витамины, необходимые микроорганизмам для роста и

переработки отходов. Рекомендуемая дозировка: 3–5 л на 1000 м³ навозных стоков, т.е. 3–5 мл на 1 м³.

Препарат «БИОКТИК» (ООО «МИЛ», Кировская обл.), позиционируется производителем как универсальное, безопасное средство, в состав которого входят исключительно природные компоненты: витамины, минералы, ферменты, аминокислоты. Препарат предназначен для сокращения времени утилизации органических отходов и расщепления жиров, он избавляет от неприятных запахов, улучшает очистку сточных вод. Рекомендуемая норма внесения: 1л концентрата на 200 м³ НС или 5 мл на 1 м³.

Оба препарата представляли собой прозрачные жидкости коричневого цвета с характерным интенсивным и весьма вязким запахом. При встряхивании на поверхности препаратов образуется устойчивая пена. Вместе с тем о наличии в составе «BIUS» и «БИОКТИК» поверхностно активных веществ (ПАВ) и ароматизаторов производители не сообщают.

Применяемые для проведения исследований H₂SO₄ и NaOCl, представляли собой отходы производства хлора методом электролиза (ООО «ГалоПолимер Кирово-Чепецк», Кировская обл.). Возможность и эффективность использования отходной H₂SO₄ и щелочного раствора NaOCl для снижения эмиссии ЗОВ из навозных стоков (НС) обоснована в ряде опубликованных исследований [7, 8]. Оба отхода не содержат значащих количеств загрязняющих компонентов и при правильном использовании не представляют опасности для животных и окружающей среды. Качество кислоты соответствовало СТО 13693708-023-2014. Массовая доля H₂SO₄ – 92 %; содержание остаточного хлора – не более 0,01 %; Hg – не более 2·10⁻⁴ %, что не превышает ПДК Hg в почвах (ГН 2.1.7.2041-06). Гипохлорит натрия для обработки НС использовали в виде щелочного раствора, содержащего 3–5 % NaOH и 5–9 % NaOCl. Применение отходов производства для обработки НС позволяет снизить расходы на приобретение реагентов более чем в 10 раз.

Изучение влияния препаратов на эмиссию ЗОВ проводили в лабораторных условиях. Для оценки запаха привлекали группу экспертов из 6 человек. Интенсивность запаха оценивали органолептическим методом по шкале от 0 (запах отсутствует) до 3 (интенсивный неприятный запах). В качестве источника ЗОВ использовали жидкую фракцию (ЖФ) НС, получаемую методом сепарирования соответствующего

отхода на свиноводческом предприятии. Влажность – 99 %; pH – 6,8; запах – интенсивный, характерный для свиного навоза.

ЖФ помещали в чистые пластиковые бутылки (объем бутылок – 1,5 л; объем ЖФ – 1 л) и добавляли препараты для снижения эмиссии ЗОВ, согласно вариантам эксперимента.

Варианты эксперимента:

- 1) ЖФ без добавок (контроль);
- 2) ЖФ + VIUS (5л концентрата на 1000м³ НС);
- 3) ЖФ + БИОКТИК (1л концентрата на 200м³ НС);
- 4) ЖФ + щелочной раствор гипохлорита натрия: 1 мл/л;
- 5) ЖФ + раствор H₂SO₄ (10 % масс.) до pH 5,5.

Согласно рекомендациям производителей VIUS и БИОКТИК, вносили в ЖФ в виде рабочих растворов, которые готовили из концентратов методом разбавления водой. При внесении раствора гипохлорита натрия pH ЖФ увеличился с 6,8 до 7,05, при внесении препаратов VIUS и БИОКТИК соответствующий показатель не изменился. Для сбора выделяющихся газов к горлышку бутылок герметично крепили пустые полиэтиленовые пакеты. В течение эксперимента емкости с ЖФ выдерживали в темном месте при температуре 21±1 °С, что соответствует условиям в навозонакопительных ваннах. Продолжительность эксперимента составила 14 суток. После завершения эксперимента пакеты снимали, измеряли суммарный объем выделившихся газов и определяли интенсивность и гедонистический тон запаха. Следует отметить, что наличие в препаратах VIUS и БИОКТИК ароматизаторов существенно осложняло процесс сенсорной оценки характера и интенсивности запаха.

Для изучения влияния препаратов на эмиссию NH₃ и H₂S использовали установки, состоящие из емкостей с ЖФ, которые закрывали пробками с газоотводными трубками, с помощью которых выделяющиеся газы пропускали через 0,01н раствор H₂SO₄ (для поглощения NH₃) или 0,01Н раствор I₂ (для поглощения H₂S). По изменению концентраций растворов соответствующих реагентов рассчитывали количество поглощенных газов [11]. Общая продолжительность соответствующего эксперимента составила 5 суток. Измерение объемов выделяющихся газов проводили через 2 и 5 дней после начала эксперимента.

Сбор материала для микробиологических исследований выполняли в стерильных условиях. Посев исследуемого материала проводили на стандартные и специализированные питательные среды с последующей идентификацией микроорганизмов с использованием тест систем

анаэротест, стрептотест, энтеротест. После бактериоскопического исследования пробы инкубировали при 37 °С в течение 24–72 часов. Подсчет выросших колоний и установление количества бактерий (КОЕ/мл) проводили чашечным методом в соответствии с методикой ОФС.1.7.2.0008.15 «Определение концентрации микробных клеток».

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

В табл. 1 приведены данные, характеризующие влияние изучаемых препаратов на общий объем и запах газов, выделившихся из ЖФ за 14 дней. Следует отметить, что наиболее активное газовыделение наблюдалось в течение первых 2 суток, затем интенсивность этого процесса снизилась.

Таблица 1. Влияние препаратов на объем и запах газов, выделяющихся из навозных стоков

Показатель	Вариант эксперимента				
	1	2	3	4	5
Объем выделившегося газа, мл на 1 л ЖФ	170±15	350±23	220±11	130±14	110±10
Интенсивность запаха, баллы	3,0±0,2	1,5±0,4	2,6±0,3	1,0±0,5	1,0±0,3

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

Согласно полученным результатам, внесение препаратов BIUS (вариант 2) и БИОКТИК (вариант 3) привело к увеличению общего объема выделяющихся газов на 106 и 30 %, внесение растворов NaOCl и H₂SO₄ снизило интенсивность газообразования на 24 и 35 % соответственно. Повышение эмиссии газов в вариантах 2 и 3 может быть обусловлено наличием ПАВ. Результаты опубликованных исследований свидетельствуют о том, что анионные ПАВ могут ускорить разложение органических веществ за счет стимулирующего воздействия на микробные сообщества [12, 13]. Заявленные в составе препаратов витамины, минералы, ферменты, аминокислоты в рекомендуемой дозировке не могли оказать заметного влияния на интенсивность микробиологических процессов, поскольку все эти компоненты попадают в НС из пищеварительной системы животных, причем в значительно больших количествах.

Менее всего неприятный запах ощущался в вариантах с добавками NaOCl, H₂SO₄ и препарата BIUS. Следует отметить, что содержащиеся в специализированных препаратах ароматизаторы, эффективно маски-

рующие неприятный запах, существенно осложнили работу экспертов. Благодаря ароматизаторам, гедонистический тон запаха ЖФ воспринимался как менее неприятный. NaOCl и H₂SO₄ не содержали ароматизаторов. Снижение интенсивности запаха при использовании этих веществ могло быть вызвано только уменьшением количества выделяющихся из ЖФ ЗОВ.

В табл. 2 приведены данные, характеризующие влияние различных препаратов на эмиссию NH₃ и H₂S из ЖФ. Объем газов, выделяющихся из ЖФ без добавок, принят за 100 %.

Таблица 2. Относительный объем газов, выделяющихся из жидкой фракции навозных стоков при внесении различных препаратов

Газ	Вариант									
	1		2		3		4		5	
	2*	5**	2	5	2	5	2	5	2	5
Аммиак, %	100	100	178±45	169±42	128±25	115±22	32±9	61±4	29±6	55±7
Сероводород, %	100	100	170±51	148±47	138±24	132±26	67±10	79±13	82±11	85±8

*Через 2 дня после внесения добавок; **Через 5 дней после внесения добавок

Согласно полученным данным, подкисление ЖФ до pH 5,5 привело к существенному уменьшению выделения NH₃. Наибольшее снижение эмиссии наблюдалось на вторые сутки после добавки кислоты. Снижение выделения NH₃ под влиянием кислоты можно объяснить связыванием газа в нелетучую форму – гидросульфат аммония, а также инактивацией уреазы, катализирующей гидролиз мочевины до NH₃ и CO₂. Максимальную активность уреазы проявляет в диапазоне pH 6–9, что соответствует pH свежего свиного навоза. Повышение кислотности приводит к уменьшению активности фермента. Активность уреазы падает и при pH выше 9, однако в щелочной среде ионы NH₄⁺ переходят в NH₃, что способствует усилению эмиссии соответствующего ЗОВ в атмосферу. Основными продуцентами уреазы являются бактерии, обитающие в фекальных массах. Кислая среда угнетает активность этих бактерий, в результате образование NH₃ уменьшается. Аналогичное влияние подкисление оказывает и на активность сульфатредуцирующих прокариот, обуславливающих активный сульфидогенез в анаэробных условиях. Оптимальные условия для жизнедеятельности сульфатредукторов создаются в интервале pH от 7 до 8. Выход за эти пределы приводит к снижению образования H₂S [14].

Отрицательное влияние на активность гнилостной микрофлоры оказала не только кислая среда, но и обработка ЖФ гипохлоритом

натрия, оказывающим выраженное бактерицидное действие на все известные бактерии, вирусы, плесневые грибы, простейшие [15].

На поверхности ЖФ во всех вариантах эксперимента сформировались достаточно плотные колонии микроорганизмов (биопленки). Медленнее всего биопленки нарастали в варианте с добавкой H_2SO_4 , что свидетельствует о снижении микробиологической активности НС, однако к концу эксперимента в этом варианте пленка оставалась сплошной, а в других вариантах разрушилась на отдельные фрагменты. Следует отметить, что биопленки могут существенно изменять характер и интенсивность ЗЗ. Плотные биопленки изолируют НС от внешней среды. Микроорганизмы, образующие биопленки, находятся в аэробных условиях, т. е. могут активно использовать кислород для окисления различных органических и некоторых неорганических (NH_3 , H_2S) веществ, что снижает интенсивность поступления ЗОВ в воздух. Масса биопленок довольно быстро увеличивается, т. е. входящие в их состав микроорганизмы, активно метаболизируют продукты разложения органических веществ.

Согласно результатам микробиологических исследований, в свежих навозных стоках доминировали *Clostridium ssp.* (91,09 %), *Escherichia coli* (6,07 %), *Bacteroides sp.* (1,06 %) и *Sarcina ventriculi* (0,91 %). Внесение H_2SO_4 снизило общее количество микроорганизмов (ОКМ) ЖФ в 8,8 раз в сравнении с вариантом 1, что коррелируется со снижением общего газовыделения. В варианте 5 выявлено преобладающее количество *Bacteroides sp.* (53,42 %), *Saccharomyces cerevisiae* (12,02 %), *Rhodotorula glutinis* (12,02 %), *Proteus ssp.* (9,35 %), *Clostridium ssp.* (5,34 %). При внесении в ЖФ щелочного гипохлорита натрия ОКМ увеличилось в 1,21 раза преимущественно за счёт активного размножения *Saccharomyces cerevisiae* (87,91 %) и *Clostridium ssp.* (10,05 %). Добавка ВІУС привела к увеличению ОКМ в 1,2 раза и повышению газовыделения в 2 раза по сравнению с контролем. В варианте 2 преобладали *Clostridium ssp.* (78,22 %), *Escherichia coli* (10,51 %), *Staphylococcus epidermidis* (6,6 %). Добавка препарата БІОКТИК увеличила ОКМ незначительно (в 1,03 раза), при этом газовыделение возросло в 1,3 раза, что можно объяснить активным размножением *Saccharomyces cerevisiae* (88,1 %), *Rhodotorula glutinis* (5,87 %) и *Peptostreptococcus anaerobius* (1,17 %).

Заключение. Выполненные исследования показали принципиальную возможность и достаточную эффективность использования таких отходов производства, как H_2SO_4 и щелочной раствор $NaOCl$, для об-

работки НС с целью улучшения микроклимата в помещениях для содержания животных и снижения ЗЗ окружающей среды. К преимуществам H_2SO_4 и $NaOCl$ можно отнести низкую стоимость, активное подавление эмиссии таких токсичных продуктов разложения, как NH_3 и H_2S , безопасность для окружающей среды (при правильном использовании), отсутствие в составе ПАВ. Наличие в препаратах ПАВ может привести к ухудшению разделения НС на твердую и жидкую фракции при сепарации. Основным недостатком H_2SO_4 является необходимость соблюдения правил безопасности при приготовлении рабочих растворов и внесении их в навозные ванны. Обработку навоза раствором кислоты можно проводить только в подпольном пространстве методом орошения, что требует дополнительных расходов на оборудование. Технология приготовления и использования раствора $NaOCl$ гораздо проще, чем раствора кислоты, но стоимость этого реагента несколько выше. Растворы $NaOCl$ активно подавляют патогенную микрофлору, снижают выделение ЗОВ и не представляют опасности для окружающей среды, поскольку при разложении этого реагента выделяется не хлор, а кислород и хлорид натрия. Поисковые решения, направленные на снижение ЗЗ на основе физических, физико-химических, микробиологических и химических методов необходимо продолжать, важна государственная поддержка внедрения данных разработок на предприятиях животноводческой отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волощук, В. М. Сезонная зависимость содержания аммиака и сероводорода в помещении для дорастивания поросят от способа подачи воздух / В. М. Волощук, В. Н. Герасимчук // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – № 20-2. – 2017. – С. 211–217.
2. Пилип, Л. В. Экологическая проблема отрасли свиноводства / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина // Аграрная наука – сельскому хозяйству: материалы XIV Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 193–196.
3. Trabue, S. Swine odor analyzed by odor panels and chemical techniques / S. Trabue, B. Kerr, B. Bearson, C. Ziemer // Environ Qual. – 2011. – №40(5). – P. 1510–1520. doi: 10.2134/jeq2010.0522
4. Dalby, F. R. Synergistic Tannic Acid-Fluoride Inhibition of Ammonia Emissions and Simultaneous Reduction of Methane and Odor Emissions from Livestock Waste / F. R. Dalby, S. Svane, J. J. Sigurdarson, M. K. Sørensen, M. J. Hansen, H. Karring, A. Feilberg // Environ. Sci. Technol. – 2020. – Vol. 54. – №12. – P. 7639–7650. doi: 10.1021/acs.est.0c01231
5. Безрукова, Г. А. Гигиенические факторы риска и профилактика профессиональных болезней органов дыхания у работников животноводства / Г. А. Безрукова, Т. А. Новикова, В. Ф. Спириин, М. Л. Шалашова, Н. А. Михайлова // Медицина труда и экология человека. – 2015. – №3. – С. 43–57.
6. Чертков, Д. Д. Взаимосвязь условий микроклимата с продуктивными качествами свиней / Д. Д. Чертков, А. А. Кретов, Б. Д. Чертков, А. В. Печеневская, М. А. Тараканов

// Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4-1 (22). – С. 22–29.

7. Терентьев, Ю. Н. Снижение эмиссии запахообразующих веществ в условиях промышленных свиноводческих предприятий / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Л. В. Пилип // Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – № 2. – С. 113–120. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-2-113-120

8. Сырчина Н. В. Рациональная утилизация отработанной серной кислоты, образующейся при производстве хлора / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва // Теоретическая и прикладная экология. – 2020. – № 4. – С. 143–148. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-143-148.

9. Мельник, В. А. Применение микробиологических препаратов для улучшения микроклимата в птичнике / В. А. Мельник, Е. В. Рябина // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – № 23-2. – 2020. – С. 177–182.

10. Безубов, В. И. Биопрепарат бактосток-эффективное средство для очистки и обеззараживания навозных стоков свиноводческих комплексов / В. И. Безубов, А. С. Петрушко, Д. Н. Ходосовский, И. И. Рудаковская, А. А. Хоченков, А. Н. Шацкая, В. А. Безмен, Э. И. Коломиец, Н. В. Сверчкова, П. А. Красочко // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. – № 17-2. – 2014. – С. 178–185.

11. Пилип, Л. В. Метод очистки воздуха от запахообразующих веществ свинокомплексов // Теоретический и научно-практический журнал. ИАЭП. – 19. – Вып. 4 (101). – С. 137–146. doi: 10.24411/0131-5226-2019-10221.

12. Zhang, Y. Effects of adding different surfactants on antibiotic resistance genes and intI1 during chicken manure composting / Y. Zhang, H. Li, J. Gu, X. Qian, Y. Yin, Y. Li, R. Zhang, X. Wang // Bioresource Technology. – 2016. – Vol. 219. – P. 545–551. doi: 10.1016/j.biortech.2016.06.117.

13. Li G. The degradation of organic matter coupled with the functional characteristics of microbial community during composting with different surfactants / G. Li, Q. Zhu, Q. Niu, Q. Meng, H. Yan, S. Wang, Q. Li // Bioresource Technology. – 2021. – Vol. 321. – P. 124446. doi: 10.1016/j.biortech.2020.124446.

14. Kushkevych, I. Analysis of pH dose-dependent growth of sulfatereducing bacteria / I. Kushkevych, D. Dordević, M. Vítězová // Open Medicine. – 2019. – Vol. 14. – № 1. P. 66–74. doi: 10.1515/med-2019-0010.

15. Решняк, В. И. Обеззараживание сточной воды / В. И. Решняк, С. Е. Посашкова // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2012. – №. 2 (14). – С. 177 – 182.