

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

ЖЫВЁЛАГАДОЎЛЯ І ВЕТЭРЫНАРНАЯ МЕДЫЦЫНА
ANIMAL HUSBANDRY AND VETERINARY MEDICINE

УДК 631.223.6.018:[619:614.718]
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-3-234-242>

Поступила в редакцию 16.06.2022
Received 16.06.2022

А. А. Ратько, Ю. В. Дуко, В. В. Шевчук

*Институт общей и неорганической химии
Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

**ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ДЕЗОДОРИРУЮЩИХ РЕАГЕНТОВ
НА ЭМИССИЮ ЗАПАХООБРАЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ
СВИНЫХ НАВОЗНЫХ СТОКОВ**

Аннотация. Жалобы на присутствие неприятного запаха вблизи свиноводческих комплексов, а зачастую и на значительном расстоянии от них являются одним из ключевых факторов, сдерживающих развитие промышленного свиноводства. Неприятный запах возникает в результате анаэробного разложения навоза, а также ввиду наличия жидких стоков на свиноводческих комплексах. Несмотря на то что достаточно мало известно о влиянии неприятного запаха на здоровье человека, люди в основном испытывают природное отвращение к запаху навоза. Запах свиного навоза может стать неприятным фактором, оказывающим влияние на качество жизни людей в близлежащих к свиноводческому населенным пунктах, а также влиять на цену объектов недвижимости, расположенных в них. Возрастающее ужесточение нормативов, регулирующих уровень запаха, может также стать одним из лимитирующих факторов для развития этой отрасли сельского хозяйства. Проведены детальные исследования по подбору оптимальной концентрации химических реагентов для дезодорации и обезвреживания жидких навозных стоков свиноводческого комплекса. Установлено, что эффект обеззараживания и подавления неприятного запаха на длительный срок обеспечивается применением композиции, содержащей персульфат аммония, надуксуную кислоту и формалин, композиции, имеющей в своем составе серную кислоту, гипохлорит натрия и гидроксид натрия, и композиции на основе нитрита натрия и молибдата аммония. Показано, что вышеупомянутые смеси являются эффективными по отношению к образцам навозных стоков как в лабораторных (объем навозных стоков, взятый для проведения эксперимента, составлял 200–400 мл), так и в полупромышленных условиях (объем навозных стоков – 80 л). Полученные в результате такой обработки навозные смеси не представляют опасности для окружающей среды и могут быть в дальнейшем использованы при производстве комплексных органоминеральных удобрений.

Ключевые слова: эмиссия газов, запах навозных стоков, концентрация реагентов, дезодорирующие смеси, химические методы обработки навоза

Для цитирования: Ратько, А. А. Исследование влияния концентрации дезодорирующих реагентов на эмиссию запахообразующих веществ свиных навозных стоков / А. А. Ратько, Ю. В. Дуко, В. В. Шевчук // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. навук. – 2023. – Т. 61, № 3. – С. 234–242. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-3-234-242>

Alexander A. Ratko, Yuliya V. Duko, Vyacheslav V. Shevchuk¹

*Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

**EFFECT OF CONCENTRATION OF DEODORIZING REAGENTS ON THE EMISSION
OF ODOR-FORMING SUBSTANCES IN PORK MANURE**

Abstract. Complaints on unpleasant odor occurring near pig-breeding complexes and frequently, at a considerable distance from them, are one of the key factors that are limiting the development of pig-breeding industry. Unpleasant odor takes place as a result of anaerobic decomposition of the manure and also due to liquid slurry at the pig-breeding facility. Despite the fact, that the effect of unpleasant odor on human health is under-investigated, the people suffer natural aversion to the smell of manure. The smell of swine manure can be an unpleasant factor affecting the quality of the life of people living in the cities close to the pig-breeding complexes and also have an effect on the price of the real estate located within this area. Tightening of standards regulating the level of odor can also be a limiting factor for this branch of industry. Detailed research aimed

at the selection of the optional composition of chemical reagents for deodorization and disinfection of liquid slurry waste at a pig breeding complex is presented. It has been determined, that the effect of disinfection and suppression of unpleasant odor for a long time is provided by the composition of ammonium persulphate, peracetic acid and formalin, the composition that contains sulphuric acid, sodium hypochlorite and sodium hydroxide and finally, the composition that contains sodium nitrite and ammonium molybdate. It was showed that the abovementioned mixtures are effective in relation to the samples of manure in laboratory (the volume of manure taken for the experiment was 200-400 ml), as well as semi-industrial conditions (the volume of manure – 80 liters). The manure mixtures obtained as a result of such treatment are environmentally friendly and can be used for the production of organo-mineral fertilizers.

Keywords: emission of gases, odor of manure, concentration of reagents, deodorizing compositions, chemical methods of manure treatment

For citation: Ratko A. A., Duko Yu. V., Shevchuk V. V. Effect of concentration of deodorizing reagents on the emission of odor-forming substances in pork manure. *Vesti Natsyonal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2023, vol. 61, no. 3, pp. 234–242 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-3-234-242>

Введение. Ущерб, наносимый окружающей среде образующимися отходами животноводства, зачастую велик, а иногда даже трагичен. В европейских странах урон от загрязнения почвы и окружающей среды, обусловленный неправильным менеджментом навоза, оценивается в 12,3 млн евро ежегодно [1, 2]. Высокое содержание влаги в навозных стоках (около 95–98 %) отрицательно сказывается или делает неосуществимой стратегию утилизации таких отходов путем прямого нанесения на близлежащие к животноводческим комплексам поля и отвергает любой план по экспорту их в другие регионы с низким содержанием питательных веществ в почве [3].

Рациональная переработка навоза с целью извлечения из него питательных элементов является актуальной задачей для производства новых, высококачественных удобрений и сильно зависит от наличия необходимой инфраструктуры и навыков обращения с навозом у персонала. Выделение аммиака, утечка питательных элементов и загрязнение патогенными микроорганизмами относятся к существенным недостаткам прямого внесения навоза в почву [1], в связи с чем до внесения в почву навоз должен быть соответствующим образом обработан с целью избавления от вышеупомянутых недостатков.

Одной из значимых проблем рационального менеджмента навоза является присутствие неприятного запаха вблизи свиноводческих комплексов. Медленное, неполное разложение органических веществ навоза – протеинов, ферментируемых углеводов, жиров [4] является основной причиной неприятного запаха. Появление неприятного запаха обусловлено также разложением не усвоенного животными органического вещества, остающегося в их пищеварительном тракте, и анаэробным разложением навоза [5, 6]. Анаэробные микроорганизмы используют органические вещества в качестве доноров электронов и как источник синтеза и развития новых клеток, что также приводит к образованию различных неприятно пахнущих газов и летучих соединений [7]. Авторами работы [8] было показано, что разложение крахмала является доминирующим в навозе крупного рогатого скота, в то время как в случае свиного навоза наряду с ним имеет место и разложение белков. В навозе животных прекурсорами соединений серы, индолов и фенолов являются белки, а к основным соединениям, ответственным за появление неприятного запаха, относятся летучие жирные кислоты, аммиак и летучие амины [9, 10].

К основным методам контроля запахов можно отнести нейтрализацию, связывание, окисление или снижение эмиссии запахообразующих веществ путем применения химических или микробиологических реагентов, технических средств очистки воздуха с использованием биофильтров. К числу самых распространенных способов обработки навозных стоков можно отнести метод окисления, применение которого приводит к разложению веществ, ответственных за наличие неприятного запаха [11].

Основные реагенты, используемые для устранения неприятных запахов, – перманганат калия, озон, перекись водорода, соединения железа и др. [12–14]. Проведенные ранее исследования подтверждают 90%-ю эффективность использования таких методов, тем не менее их реализация в промышленном масштабе затруднительна из-за переменного состава навозных стоков и сильного влияния погодных условий на проведение дезодорирующих мероприятий. Зачастую реагенты для дезодорирования навозных стоков имеют ограниченное по времени действие, поэтому возникает необходимость повторной обработки навозных масс [15]. Возможности использо-

вания реагентов – ингибиторов метаболической активности бактерий, ответственных за эмиссию запахообразующих веществ, недостаточно изучены, как и перспективы их использования для обработки навозных масс различного возраста. В связи с этим поиск универсальных реагентных способов снижения эмиссии запахообразующих соединений и оптимальных концентраций реагентов в дезодорирующих смесях с целью достижения желаемого эффекта имеет существенное практическое значение.

Цель работы – оптимизация составов дезодорирующих смесей с целью достижения эффекта максимального дезодорирования и обеззараживания свиных навозных стоков.

Материалы и методы исследования. В качестве образцов для исследования использовали навозные стоки влажностью 94–95 % свинофермы в д. Глебовичи (Минский район, Республика Беларусь) производительностью 100 гол. с выходом навозных стоков 1 м³/день. Образцы отбирали из лагун свинофермы по 10 и 80 л в течение 5 мес. (с декабря 2021 г. по апрель 2022 г.).

Наличие сухого вещества в составе жидкой навозной смеси определяли по методике¹. В сушильный шкаф помещали образцы, которые высушивали до постоянной массы при температуре 105 °С; взвешивание проводили на лабораторных весах марки OHAUS RV313 (AR3130), II класс точности по ГОСТ 24104-2001. Содержание сухого вещества в образцах варьировало от 15 до 25 %. Среднее содержание сухого вещества в жидких отходах свинофермы составило 20 %.

Измерение pH проводили с помощью профессионального многоканального pH-метра Seven Excellence производства компании METTLER TOLEDO (США).

С целью определения оптимальной концентрации реагентов в составах дезодорирующих смесей изучали несколько способов устранения специфического запаха навоза: изменение pH навозных стоков до определенного уровня, при котором прекращается эмиссия запахообразующих веществ; способ, основанный на окислительно-восстановительных свойствах реагентов; способ, основанный на ингибировании развития бактерий химическими реагентами. Для сравнения степени интенсивности снижения эмиссии летучих соединений испытывали 4 группы реагентов различной направленности действия.

Ранее нами в работе [16] было показано, что исследованные композиции реагентов (серная кислота в сочетании с гипохлоритом натрия, персульфат аммония в сочетании с формалином, с последующим добавлением надуксусной кислоты, а также смесь нитрита натрия и молибдата аммония) обеспечивают обеззараживание и подавление неприятного запаха навозной смеси. Исследования, выполненные в рамках настоящей работы, были направлены на оптимизацию концентрации реагентов в составе дезодорирующих смесей с целью достижения максимального эффекта дезодорации и обеззараживания свиных навозных стоков.

Выбор вышеупомянутых реагентов в качестве компонентов дезодорирующих смесей обусловлен тем, что весомую долю среди запахообразующих веществ составляют вещества, обладающие кислотными и основными свойствами, а также тем, что опыт их применения уже имеется в животноводстве: минеральными кислотами регулируют уровень pH с целью снижения выработки азотсодержащих запахообразующих веществ [17], гипохлорит натрия нашел применение в ветеринарии ввиду наличия фунгицидных и бактерицидных свойств [18]. Нитрит натрия (NaNO₂) и молибдат аммония ((NH₄)₂MoO₄ · 2H₂O) применяли в качестве метаболических ингибиторов, снижающих активность бактерий, ответственных за производство запахообразующих веществ [19].

Надуксусная кислота (CH₃C(O)OOH), персульфат аммония ((NH₄)₂S₂O₈), формалин (CH₂O, 37 %-й раствор), бисульфит натрия (NaHSO₃) – каждый отдельно взятый компонент данной группы реагентов используется для дезинфекции и/или дезодорации помещений сельскохозяйственного назначения [20], однако зачастую применение этих реагентов по отдельности, а не в составе смеси не дает желаемого эффекта, в связи с чем в настоящей работе проведено более детальное исследование синергичного действия вышеупомянутых веществ для обеспечения эффективного окисления запахообразующих соединений навозных стоков. Основным требованием к компонентам и их содержанию в составе дезодорирующих смесей является минимизация их токсичного и опасного воздействия на людей и животных.

¹ Лурье Ю. Ю., Рыбникова А. И. Химический анализ производственных сточных вод. Москва: Химия, 1974. 336 с.

Изучение влияния вышеуказанных добавок на эмиссию запахообразующих соединений выполняли в лабораторных и полупроизводственных условиях. В лабораторных условиях в стеклянные химические стаканы емкостью 1000 см³ помещали образцы массой 0,5 кг. Каждая дезодорирующая композиция вводилась в исследуемые образцы по своей схеме. Один образец навозных стоков использовали в качестве контроля без какой-либо обработки. Испытывали различные комбинации реагентов и метаболических ингибиторов. После получения положительных результатов лабораторных испытаний изучение влияния добавок на снижение неприятного запаха проводили в производственных помещениях свинофермы в емкостях объемом 200 л, имитирующих лагуны с навозными стоками.

Первую партию образцов обрабатывали смесью персульфата аммония (30%-й раствор) и формальдегида (30%-й раствор) в различных соотношениях. Вторую партию образцов обрабатывали рабочим раствором надуксусной кислоты, для приготовления которого использовали 4 ч. ледяной уксусной кислоты, 1 ч. пероксида водорода и 5 ч. воды, подкисленной борной кислотой с добавлением изопропилового спирта¹. Опытным путем [16] было установлено, что свежеприготовленный раствор надуксусной кислоты менее эффективен для целей дезодорирования, что связано с полнотой протекания реакции превращения уксусной кислоты в надуксусную, поэтому после приготовления его выдерживали в закрытой емкости минимум трое суток. Третью партию образцов обрабатывали смесью персульфата аммония, формальдегида, надуксусной кислоты и бисульфита натрия, а также бисульфитом натрия без присутствия остальных реагентов. Четвертую партию образцов свиного навоза обрабатывали смесью нитрита натрия и молибдата аммония с разным соотношением реагентов в смеси.

Запах свиного навоза формируется сложной смесью соединений переменного состава, поэтому контроль интенсивности запаха осуществлялся в целом, а не по отдельным компонентам. Оценку запаха проводили органолептическим способом, как было описано ранее в работе [16]. В качестве испытателей выступала группа в количестве 10 человек, выбранных случайно. Образцы оценивали по пятибалльной шкале в соответствии с табл. 1. Если расхождение в оценке запаха отдельными испытателями превышало 1 балл, оценку пробы повторяли не ранее чем через 30 мин. За окончательный результат испытания принимали среднее арифметическое результатов оценок, присужденных испытателями. Результат округляли до целого числа.

Таблица 1. Оценка интенсивности запаха навоза

Table 1. Assessment of the intensity of manure odor

Запах	Оценка	Баллы
Запах не воспринимается	Отлично	0
Запах ощущается, недостаточно выраженный	Хорошо	1
Умеренный запах	Удовлетворительно	2
Сильный запах	Плохо	3
Очень сильный запах	Плохо	4

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований по дезодорации навозных стоков смесью персульфата аммония и формальдегида, различным количеством реагентов представлены в табл. 2. Как было показано в работе [16], снижение запаха в образцах, обрабатываемых серной кислотой и гипохлоритом натрия, обусловлено связыванием летучих азотсодержащих соединений в нелетучие аммонийные соли и окислением сероводорода по реакциям:



Из данных, представленных в табл. 2, следует, что стойкая нормализация запаха образцов как в лабораторных, так и в полупромышленных условиях достигалась для образцов 3 и 4, при этом время выдержки образца в лабораторных условиях до достижения эффекта дезодорации

¹ Способ получения дезинфицирующего средства: пат. Ru 2183467 / А. В. Смирнов, В. А. Лазеба, Б. М. Мезенцев, Л. В. Дульнева. Опубл. 20.06.2002. 5 с.

было значительно короче такового по сравнению с образцом больших объемов (1 и 6 сут соответственно). Следует также отметить, что эффект первоначального дезодорирования навозных стоков сохранялся в последующие 7 и более суток с момента обработки.

Наличие в составе дезодорирующей смеси персульфата аммония, обладающего высокой окислительной способностью по отношению к сульфидам навоза, обеспечивает эффект дезодорации, а также приводит к подавлению активности сульфидообразующих бактерий, однако дезодорирующее действие персульфата может быть усилено добавлением в состав смеси вспомогательных реагентов, например формальдегида [13].

Таблица 2. Результаты дезодорации навозных стоков смесью персульфата аммония и формальдегида

Table 2. Results of deodorization of manure by the mixture of ammonium persulphate and formaldehyde

Параметр	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
$V_{\text{состава}}$	0,3 л	80 л	0,3 л	80 л
$\text{pH}_{\text{исх}}$	4,525			
Состав реагента – количество	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ – 2 мл CH_2O – 2 мл	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ – 160 г (в пересчете на сухое вещество) CH_2O (37%-й) – 144,1 мл	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ – 3 мл CH_2O – 3 мл	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ – 240 г (в пересчете на сухое вещество) CH_2O (37%-й) – 216,2 мл
Количество реагентов на 1 т навоза	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ – 2 кг (в пересчете на сухое вещество) CH_2O (37%-й) – 1,8 л		$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ – 3 кг (в пересчете на сухое вещество) CH_2O (37%-й) – 2,7 л	
Интенсивность запаха навоза после сушки обработанных образцов	1	1	0	0

Примечание. Исследования проводились на лабораторных и промышленных образцах в период с декабря 2021 г. по апрель 2022 г.

Note. The studies were performed using the laboratory and industrial samples of manure in the period of December 2021 to April 2022

В работах [13, 16] было показано, что при обработке навоза данной смесью дезодорирующий эффект проявлялся через 15 мин после добавления реагентов и сохранялся на протяжении 3 дней, после чего неприятный запах возвращался. В связи с этим с целью окончательного избавления от неприятного запаха была проведена дополнительная обработка навозной смеси раствором надуксусной кислоты и раствором бисульфита натрия.

Механизм действия надуксусной кислоты, являющейся пероксидным соединением, заключается в уничтожении бактерий – разрушаются сероводородные (-SH) и дисульфидные (S-S) мостики в белках и ферментах при окислении [4]. После обработки больших объемов навозных стоков дезодорирующей смесью, содержащей в своем составе надуксусную кислоту (образец № 1), эффект полной дезодорации наступал через 5 мин после обработки навозной смеси и сохранялся в течение 21 сут с момента обработки (табл. 3). Высокий дезодорирующий эффект реагентов объясняется синергическим действием индивидуальных компонентов реагентной смеси [16]. При этом для обработки образца № 2 применяли смесь серной кислоты и гипохлорита натрия, описанную в работе [16], однако для окончательного избавления от неприятного запаха дезодорирующий состав был дополнен гидроксидом натрия (NaOH) и оксидом кальция (CaO), который вводили в смесь в виде известкового молока для разрушения патогенных микроорганизмов, присутствующих в навозных стоках [21]. Деструкция патогенов происходит в результате увеличения pH в сочетании с ингибирующим эффектом действия аммиака, выделяющегося при уровне pH смеси выше 10 [22]. Эффект от применения известкового молока был описан авторами работы [23], по результатам экспериментов которых 2 дней оказалось достаточно для разрушения микроорганизмов из пищеварительного тракта животных, содержание микроорганизмов в обработанных навозных стоках находилось ниже предела обнаружения.

Т а б л и ц а 3. Влияние природы реагентов дезодорирующей смеси на интенсивность запаха промышленных образцов навозных стоков

T a b l e 3. Effect of the nature of deodorizing reagents on the intensity of manure odor

Параметр	Образец 1, реагент – персульфат аммония, формальдегид, надуксусная кислота	Образец 2, реагент – серная кислота, щелочной раствор гипохлорита натрия
$V_{\text{состава}}$	80 л	80 л
$\text{pH}_{\text{исх}}$	6,6	
Состав реагента, количество (из расчета на 80 л навоза)	(NH_4) ₂ S ₂ O ₈ (30%-й раствор) – 0,8 кг CH ₂ O (30%-й раствор) – 0,267 кг Реагент на основе надуксусной кислоты – 0,267 л Уксусная кислота – 0,107 л H ₃ BO ₃ – 0,37 г H ₂ O ₂ – 27 мл Вода – остальное pH – 5,95	H ₂ SO ₄ (30%-я) – 0,4 л NaClO (5,5%-й раствор) – 0,22 кг NaOH – 0,12 кг pH – 5,3 CaO – 86,0 г (добавляли до достижения нейтральной среды)
Количество реагентов на 1 т навоза	(NH_4) ₂ S ₂ O ₈ – 10 кг CH ₂ O – 3,34 кг Реагент на основе надуксусной кислоты – 3,375 л Уксусная кислота – 1,342 л H ₃ BO ₃ – 4,7 г H ₂ O ₂ – 0,335 л Изопропиловый спирт – 0,016 л Вода – остальное pH – 5,95	H ₂ SO ₄ (30%-я) – 5 л NaClO (5,5%-й раствор) – 2,75 кг NaOH – 1,5 кг pH – 5,3 CaO – 1,082 кг (добавляли до достижения нейтральной среды)
Эффект после сушки образцов	После сушки при температуре 110 °С до полного высыхания запах навоза отсутствует На 21-е сут выдержки смеси зловонный запах отсутствует	После сушки при температуре 110 °С до полного высыхания запах навоза отсутствует На 21-е сут выдержки смеси зловонный запах отсутствует

Из данных, приведенных в табл. 3, видно, что эффект полной дезодорации достигается в случае обеих смесей, но для образца, обработанного смесью персульфата аммония, формальдегида и надуксусной кислоты, неприятный запах пропадает быстрее (через 45 мин после обработки последним компонентом смеси) и сохраняется в течение как минимум 21 сут, тогда как в случае второго образца дезодорация навозных стоков наступает после 24 ч с момента обработки смеси последним реагентом и сохраняется также в течение 21 сут.

Т а б л и ц а 4. Результаты экспериментов на лабораторных образцах навозных стоков

T a b l e 4. Results of the experiments on the laboratory samples of manure

Параметр	Образец 1	Образец 2	Образец 4	Образец 5	Образец 6	Образец 7
$V_{\text{состава}}$	400 мл					
$\text{pH}_{\text{исх}}$	6,6					
Количество реагентов, необходимое для обработки 1 т НС	(NH_4) ₂ S ₂ O ₈ (30%-й) 7,5 л + CH ₂ O (30%-й) 2,5 л + CH ₃ C(O)OOH 17,5 л + NaHSO ₃ 5 кг	NaHSO ₃ 8 кг	NaHSO ₃ 5 кг + CH ₃ C(O) OOH 10 л + CaO 0,5 л	NaHSO ₃ 8 кг + CH ₃ C(O)OOH 10 л + CaO 0,5 л	NaNO ₂ 6,90 кг + (NH ₄) ₂ MoO ₄ 0,48 кг	NaNO ₂ 13,80 кг + (NH ₄) ₂ MoO ₄ 0,24 кг
Интенсивность запаха навоза после сушки образцов	0	2	1	1	0	2

П р и м е ч а н и е. Исследования проводились в период с декабря 2021 по апрель 2022 г.

N o t e. The studies were performed on the laboratory and industrial samples of manure in the period of December 2021 to April 2022.

Изучено влияние гидросульфита натрия и известкового молока в дезодорирующей смеси на основе надуксусной кислоты на эффективность удаления запаха (табл. 4) и установлено, что наилучший эффект дезодорации достигается при использовании бисульфита натрия в качестве одного из компонентов смеси. Оптимальными с точки зрения быстроты наступления эффекта подавления неприятного запаха и его удержания (прекращения выделения зловонных газов) на продолжительное время являются композиция, содержащая в своем составе персульфат аммония, формальдегид, надуксусную кислоту и бисульфит натрия (образец № 1), а также композиция на основе нитрита натрия и молибдата аммония (образец № 6, необходимое количество реагентов для обработки – 6,90 кг NaNO_2 + 0,48 кг $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ в пересчете на 1 т навоза).

Как уже отмечалось ранее [16], добавление растворов нитрита натрия (NaNO_2) и молибдата аммония ($(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$) к навозной смеси способствует окислению сульфидов, что приводит к резкому уменьшению концентрации сероводорода за короткий промежуток времени и тем самым к исчезновению неприятного запаха. Смесь нитрита натрия и молибдата аммония выступает ингибитором активности сульфатовосстанавливающих бактерий и замедления процесса биогенного формирования сульфидов.

Дальнейшие испытания смесей, показавших наилучший эффект дезодорации по результатам исследований, представленным в табл. 4, будут проведены на промышленных образцах навоза разного возраста.

Заключение. В результате проведенных исследований показано, что эффектом дезодорации в лабораторных и промышленных условиях навозных стоков обладают две композиции: состав, содержащий персульфат аммония, формальдегид и надуксусную кислоту, и состав на основе серной кислоты, гипохлорита натрия, гидроксида натрия и известкового молока, а на лабораторных образцах – состав на основе нитрита натрия и молибдата аммония. Оценено влияние концентрации реагентов дезодорирующих смесей на уровень эмиссии запахообразующих веществ навозных стоков и для каждой из дезодорирующих смесей определены оптимальные значения концентрации реагентов, обеспечивающих эффект дезодорации.

Наиболее предпочтительным с точки зрения быстроты достижения эффекта дезодорации является состав на основе персульфата аммония, надуксусной кислоты и формалина (эффект дезодорации при испытаниях состава на образцах навозных стоков объемом 80 л наступал через 45 мин после обработки), при обработке смесью нитрита натрия и молибдата аммония эффект дезодорации наступал в течение 1 сут с момента внесения реагентов. Обе смеси продемонстрировали хорошую сохраняемость эффекта дезодорации при выдерживании обработанных реагентами навозных стоков в течение достаточно длительного времени (21 сут).

Достигнутая продолжительность эффекта дезодорации и обеззараживания является достаточной для проведения глубокой переработки навозных стоков с целью их последующего использования в качестве компонента органоминеральных удобрений, предназначенных для внесения на поля под различные технические культуры.

Список использованных источников

1. Integrating nitrogen fluxes at the European scale / A. Leip [et al.] // The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives / ed.: M. A. Sutton [et al.]. – Cambridge, 2011. – P. 345–376. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511976988.019>
2. Evaluation of manure management systems in Europe [Electronic resource]: rep. final del projecte LIFE+MANEV/ M. Bernal [et al.]. – SARGA, 2015. – Mode of access: <https://core.ac.uk/download/pdf/46606176.pdf>. – Date of access: 14.03.2023.
3. Sustainable nutrient recovery from animal manure: a review of current best practice technology and the potential for freeze concentration / A. Dadrasnia [et al.] // J. Clean. Prod. – 2021. – Vol. 315. – Art. 128106. <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2021.128106>
4. Varel, V. H. Livestock manure odor abatement with plant-derived oils and nitrogen conservation with urease inhibitors: a review / V. H. Varel // J. Anim. Sci. – 2020. – Vol. 80, suppl. 2. – P. E1–E7. https://doi.org/10.2527/animalsci2002.80E-Suppl_2E1x
5. Analysis of odors from concentrated animal feeding operations: a review / P. Guffanti [et al.] // Atmos. Environ. – 2018. – Vol. 175. – P. 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.12.007>
6. Mackie, R. I. Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste / R. I. Mackie, P. G. Stroot, V. H. Varel // J. Anim. Sci. – 2018. – Vol. 76, № 5. – P. 1331–1342. <https://doi.org/10.2527/1998.7651331x>

7. Hartung, J. Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores / J. Hartung, V. R. Phillips // *J. Agric. Eng. Res.* – 1994. – Vol. 57, № 3. – P. 173–189. <https://doi.org/10.1006/jaer.1994.1017>
8. Miller, D. N. Swine manure composition affects the biochemical origins / D. N. Miller, V. H. Varel // *J. Anim. Sci.* – 2003. – Vol. 81, № 9. – P. 2131–2138. <https://doi.org/10.2527/2003.8192131x>
9. Jang, Y. N. Biochemical changes and biological origin of key odor compound generations in pig slurry during indoor storage periods: a pyrosequencing approach / Y. N. Jang, M. W. Jung // *BioMed Res. Int.* – 2018. – Vol. 2018. – Art. 3503658. <https://doi.org/10.1155/2018/3503658>
10. Aarnink, A. J. A. Nutrition affects odor emission from pig manure [Electronic resource] / A. J. A. Aarnink, D. P. Le, M. W. A. Verstegen // *International symposium on Air quality and Waste Management for Agriculture*, 16–19 September 2007, Broomfield, Colorado / Amer. Soc. of Agr. a. Biol. Engineers. – Broomfield, 2007. – Mode of access: <https://doi.org/10.13031/2013.23856>. – Date of access: 14.03.2023.
11. Effects of dietary treatment on odor and VOCs emitted from swine manure / L. Cai [et al.] // *Iowa State Univ. Anim. Ind. Rep.* – 2009. – Vol. 6, № 1. https://doi.org/10.31274/ans_air-180814-952
12. Livestock farming and atmospheric emissions / G. Zicari [et al.] // *Ig. Sanità Pubbl.* – 2013. – Vol. 69, № 4. – P. 445–457.
13. Ольфактометрические исследования выбросов запаха на российских предприятиях / М. А. Яценко-Хмельская [и др.] // *Биосфера.* – 2013. – Т. 5, № 3. – С. 303–310.
14. Wastewater treatment by advanced oxidation process and their worldwide research trends / J. A. Garrido-Cardenas [et al.] // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* – 2020. – Vol. 17, № 1. – Art. 170. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010170>
15. McCrocy, D. F. Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes / D. F. McCrocy, P. J. Hobbs // *J. Environ. Qual.* – 2001. – Vol. 30, № 2. – P. 345–355. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.302345x>
16. Ратько, А. А. Исследование влияния способа обработки свиных навозных стоков на эмиссию запахообразующих веществ / А. А. Ратько, Ю. В. Дуко, В. В. Шевчук // *Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук.* – 2022. – Т. 60, № 2. – С. 234–242. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-234-242>
17. Slurry acidification as a tool to reduce ammonia emissions / E. Sindhøj [et. al.] // *С.-х. машины и технологии.* – 2019. – Т. 13, № 5. – С. 4–10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2019-13-5-4-10>
18. Галкина, Т. С. Парвовирусный энтерит собак: анализ эпизоотической ситуации и перспективы / Т. С. Галкина, А. К. Караулов // *Ветеринария сегодня.* – 2020. – № 4 (35). – С. 283–289. <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-4-35-283-289>
19. Технология обеззараживания свиного навоза / А. Н. Ковальчук [и др.] // *Вестн. КрасГАУ.* – 2017. – № 11 (134). – С. 71–79.
20. Control of H₂S emissions from swine manure using Na-nitrite and Na-molybdate / B. Z. Predicala [et al.] // *J. Hazard. Mater.* – 2008. – Vol. 154, № 1–3. – P. 300–309. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.026>
21. An overview of the control of bacterial pathogens in cattle manure / C. E. Mnyi-Loh [et al.] // *Int. J. Environ. Public Health.* – 2016. – Vol. 3, № 9. – P. 843–871. <https://doi.org/10.3390/ijerph13090843>
22. Gerba, C. P. Sources of pathogenic microorganisms and their fate during land application of wastes / C. P. Gerba, J. E. Smith // *J. Environ. Qual.* – 2005. – Vol. 34, № 1. – P. 42–48.
23. Čempírková, R. The analysis of real microbiological risks for dissociated slurry / R. Čempírková, M. Šoch // *Agric. Trop. Subtrop.* – 2007. – Vol. 40, № 4. – P. 164–171.

References

1. Leip A., Achermann B., Billen G., Bleeker A., Bouwman A., de Wries W. (et al.). Integrating nitrogen fluxes at the European scale. *The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives*. Cambridge, 2011, pp. 345–376. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511976988.019>
2. Bernal M., Bescos B., Bustamante M.A., Clemente R., Fabbri C., Flotats X. (et al.). *Evaluation of manure management systems in Europe*. SARGA, 2015. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/46606176.pdf> (accessed 14 March 2023).
3. Dadrassia A., de Bona Munoz I., Yáñez E. H., Lamkaddam I. U., Mora M., Ponsá S., Mansour A., Argelaguet L. L., Williams P. M., Oatley-Radcliffe D. L. Sustainable nutrient recovery from animal manure: a review of current best practice technology and the potential for freeze concentration. *Journal of Cleaner Production*, 2021, vol. 315, art. 128106. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128106>
4. Varel V. H. Livestock manure odor abatement with plant-derived oils and nitrogen conservation with urease inhibitors: a review. *Journal of Animal Science*, 2020, vol. 80, suppl. 2, pp. E1–E7. https://doi.org/10.2527/animalsci2002.80E-Suppl_2E1x
5. Guffanti P., Pifferi V., Falciola L., Ferrante V. Analysis of odors from concentrated animal feeding operations: a review. *Atmospheric Environment*, 2018, vol. 175, pp. 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.12.007>
6. 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*, 2018, vol. 76, no. 5, pp. 1331–1342. <https://doi.org/10.2527/1998.7651331x>
7. Hartung J., Phillips V. R. Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1994, vol. 57, no. 3, pp. 173–189. <https://doi.org/10.1006/jaer.1994.1017>
8. Miller D. N., Varel V. H. Swine manure composition affects the biochemical origins. *Journal of Animal Science*, 2003, vol. 81, no. 9, pp. 2131–2138. <https://doi.org/10.2527/2003.8192131x>
9. Jang Y. N., Jung M. W. Biochemical changes and biological origin of key odor compound generations in pig slurry during indoor storage periods: a pyrosequencing approach. *BioMed Research International*, 2018, vol. 2018, art. 3503658. <https://doi.org/10.1155/2018/3503658>

10. Aarnink A. J. A., Le D. P., Verstegen M. W. A. Nutrition affects odor emission from pig manure. *International symposium on Air quality and Waste Management for Agriculture, 16–19 September 2007, Broomfield, Colorado*. Broomfield, 2007. Available at: <https://doi.org/10.13031/2013.23856> (accessed 14 March 2023).
11. Cai L., Koziel J. A., Kerr B., Trabue S. Effects of dietary treatment on odor and VOCs emitted from swine manure. *Iowa State University Animal Industry Report*, 2009, vol. 6, no. 1. https://doi.org/10.31274/ans_air-180814-952
12. Zicari G., Soardo V., Rivetti D., Cerrato E., Russo D. Livestock farming and atmospheric emissions. *Igiene e Sanità Pubblica*, 2013, vol. 69, no. 4, pp. 445–457.
13. Yatsenko-Khmelevskaya M. A., Tsubulski V. V., Khitrina N. G., Korolenko L. I. Olfactometric investigations of odor emissions by industrial enterprises in Russia. *Biosfera = Biosphere*, 2013, vol. 5, no. 3, pp. 303–310 (in Russian).
14. Garrido-Cardenas J. A., Esteban-Garcia B., Aguera A., Sanchez-Perez J. A., Manzano-Agugliaro F. Wastewater treatment by advanced oxidation process and their worldwide research trends. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 1, art. 170. <https://doi.org/10.3390/ijerph17010170>
15. McCrocy D. F., Hobbs P. J. Additives to reduce ammonia and odor emissions from livestock wastes. *Journal of Environmental Quality*, 2001, vol. 30, no. 2, pp. 345–355. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.302345x>
16. Ratko A. A., Duko Yu. V., Shevchuk V. V. Study of effect of pig manure treatment method on emission of odor-forming substances. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2022, vol. 60, no. 2, pp. 234–242 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-234-242>
17. Sindhøj E., Tamm K., Bryukhanov A., Casimir J., Uvarov R., Oblomkova N. Slurry acidification as a tool to reduce ammonia emissions. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*, 2019, vol. 13, no. 5, pp. 4–10 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2019-13-5-4-10>
18. Galkina T. S., Karaulov A. K. Canine parvovirus enteritis: epidemic situation analysis and perspectives. *Veterinariya segodnya = Veterinary Science Today*, 2020, no. 4 (35), pp. 283–289 (in Russian). <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2020-4-35-283-289>
19. Kovalchuk A. N., Lefler T. F., Stroganova I. Ya., Donkova N. V., Sidorova A. L., Chetvertakova E. V., Smolin S. G. The technology of disinfestation of pig manure. *Vestnik KrasGAU = Bulletin of KrasSAU*, 2017, no. 11 (134), pp. 71–79 (in Russian).
20. Predicala B., Nemati M., Stade S., Laguë C. Control of H₂S emissions from swine manure using Na-nitrite and Na-molybdate. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, vol. 154, no. 1–3, pp. 300–309. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.026>
21. Mnyi-Loh C. E., Mamphweli S. N., Meyer E. L., Makaka G., Simon M., Okoh A. I. An overview of the control of bacterial pathogens in cattle manure. *International Journal of Environmental and Public Health*, 2016, vol. 13, no. 9, art. 843. <https://doi.org/10.3390/ijerph13090843>
22. Gerba C. P., Smith J. E. Sources of pathogenic microorganisms and their fate during land application of wastes. *Journal of Environmental Quality*, 2005, vol. 34, no. 1, pp. 42–48.
23. Čempírková R., Šoch M. The analysis of real microbiological risks for dissociated slurry. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 2007, vol. 40, no. 4, pp. 164–171.

Информация об авторах

Ратько Александр Анатольевич – кандидат химических наук, заместитель директора по научной и инновационной работе, Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 9, корп. 1, 220072, Минск, Республика Беларусь). <http://orcid.org/0000-0002-5741-4381>. E-mail: aratko@gmail.com

Дуко Юлия Владимировна – научный сотрудник лаборатории минеральных удобрений, Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 9, корп. 1, 220072, Минск, Республика Беларусь). <http://orcid.org/0000-0002-1984-6116>. E-mail: julietta.fifochka@gmail.com

Шевчук Вячеслав Владимирович – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, заведующий лабораторией минеральных удобрений, Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 9, корп. 1, 220072, Минск, Республика Беларусь). <http://orcid.org/0000-0002-0516-1765>. E-mail: shevchukslava@rambler.ru

Information about the authors

Alexander A. Ratko – Ph. D. (Chemistry), Deputy Director for Science and Innovations, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganova Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). <http://orcid.org/0000-0002-5741-4381>. E-mail: aratko@gmail.com

Yuliya V. Duko – Research of the Laboratory for Mineral Fertilizers, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganova Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). <http://orcid.org/0000-0002-1984-6116>. E-mail: julietta.fifochka@gmail.com

Vyacheslav V. Shevchuk – Correspondent Member of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc. (Chemistry), Head of the Laboratory for Mineral Fertilizers, Institute of General and Inorganic Chemistry of National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganova Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shevchukslava@rambler.ru. <http://orcid.org/0000-0002-0516-1765>. E-mail: shevchukslava@rambler.ru