

Биологическое загрязнение пахотных земель отходами свиноводства

© 2022. Л. В. Пилип¹, к. в. н., доцент,
Н. В. Сырчина², к. х. н., доцент, с. н. с., В. А. Козвонин^{2,3}, к. м. н., 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,
А. В. Сазанов², к. б. н., доцент,

¹Вятский государственный агротехнологический университет,
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
Российской академии наук,

167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
e-mail: pilip_larisa@mail.ru, nvms1956@mail.ru, ecolab2@gmail.com

Крупные промышленные свинокомплексы являются источником биологического загрязнения пахотных земель, расположенных вблизи данных предприятий, в результате внесения больших объёмов жидкой фракции навозных стоков. Утилизация указанных биогенных отходов является серьёзной экономической и экологической проблемой. Исследование посвящено изучению влияния жидкой фракции навозных стоков свиноферм на санитарное состояние пашни по данным агрохимического и микробиологического исследования образцов почвы. В ходе исследования выявлено, что регулярное внесение свиных навозных стоков в пашню (на протяжении 5 лет) привело к существенному повышению содержания подвижных форм фосфора и калия; отмечена выраженная тенденция к накоплению меди и цинка в пахотном горизонте почвы, а также зарегистрированы высокие значения общего микробного числа, индекса бактерий группы кишечной палочки, энтерококков и *Clostridium perfringens*. В значительных количествах обнаружены сальмонеллы, в том числе патогенные, и термофильные бактерии. Кроме того, свиные навозные стоки являются потенциальными источниками попадания в почву сельскохозяйственных угодий, а также сопряжённых территорий бактерий *E. coli*, *C. perfringens*, *Proteus* spp., *Clostridium* spp., *Salmonella enteritidis*, грибов *Alternaria alternate*, *Botrytis cinerea*, дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Недостаток внимания к экологическому мониторингу территорий, прилегающих к животноводческим предприятиям, может привести к химическому и биологическому загрязнению окружающей среды широким спектром поллютантов, присутствующих в навозных стоках, а интенсификация развития отрасли промышленного свиноводства ускорит данный процесс.

Ключевые слова: свиные навозные стоки, микроорганизмы, промышленное свиноводство, биологическое загрязнение почвы, тяжёлые металлы, утилизация свиного навоза.

Biological contamination of arable land with pig waste

© 2022. L. V. Pilip¹ ORCID: 0000-0001-9695-7146, N. V. Syrchina² ORCID: 0000-0001-8049-6760
V. A. Kozvonin^{2,3} ORCID: 0000-0002-2447-6949, E. P. Kolevatykh³ ORCID: 0000-0001-6147-3555
T. Ya. Ashikhmina^{2,4} ORCID: 0000-0003-4919-0047, A. V. Sazanov² ORCID: 0000-0002-6934-3330

¹Vyatka State Agrotechnological University,
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 the Russian Academy of Sciences,

28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
e-mail: pilip_larisa@mail.ru, nvms1956@mail.ru, ecolab2@gmail.com

Large industrial pig farms are a source of biological contamination of arable lands located in the immediate vicinity of these enterprises, as a result of the introduction of large volumes of liquid fraction of manure effluents. Utilization of these biogenic wastes is a serious economic and environmental problem for the agro-industrial complex. The work is devoted to the study of the influence of the liquid fraction of pig farm manure effluents on the sanitary condition of arable land according to agrochemical and microbiological studies of soil samples. The study revealed that the regular introduction of pig manure into arable land (for 5 years) led to a significant increase in the content of mobile forms of phosphorus and potassium; there was a pronounced tendency to the accumulation of copper and zinc in the arable horizon of the soil, in addition, high values of the total microbial number, the index of bacteria of the group *Escherichia coli*, *Enterococci* and *Clostridium perfringens*. *Salmonella*, including pathogenic and thermophilic bacteria, were found in significant quantities. In addition, pig manure effluents are potential sources of ingress into the soil of agricultural land, as well as adjacent territories with saprophytic microorganisms, as well as bacteria of the group *E. coli*, *C. perfringens*, *Proteus* spp., *Clostridium* spp., *Salmonella enteritidis*, fungi *Alternaria alternate*, *Botrytis cinerea*, yeast *Saccharomyces cerevisiae*. Insufficient attention to environmental monitoring of territories adjacent to livestock enterprises can lead to chemical and biological pollution of the environment by a wide range of pollutants present in manure runoff, and the intensification of the development of the industrial pig industry will accelerate this process.

Keywords: pig manure effluents, microorganisms, industrial pig farms, biological soil contamination, heavy metals, pig manure management.

Охрана окружающей среды и внедрение безотходных технологий производства входят в число приоритетных задач, решаемых промышленным свиноводством на современном этапе. Основными отходами данной отрасли являются навоз и навозные стоки (НС). По данным официальной статистики, поголовье свиней в Российской Федерации (РФ) на конец 2021 г. в хозяйствах всех категорий достигло 26192,9 тыс., при этом ежегодное количество образующихся НС приблизилось к 96 млн т. Переработка такой массы биогенных отходов представляет серьёзную экономическую и экологическую проблему. Оптимальным способом утилизации НС считается внесение их в почву в качестве органического удобрения [1, 2]. Однако свежий свиной навоз (СН) относится к отходам III класса опасности, использование которых для восстановления плодородия почв возможно только после соответствующего обеззараживания. Чаще всего необходимая степень обезвреживания достигается за счёт длительного выдерживания НС в специальных навозохранилищах.

Обезвреженные отходы транспортируются на поля и запахиваются. Поскольку транспортировка навоза на значительные расстояния сопряжена с большими расходами, данные органические удобрения чаще всего используются на сельскохозяйственных угодьях, расположенных вблизи животноводческих комплексов. Согласно Земельному кодексу РФ, пашня относится к категории земель сельскохозяйственных угодий, систематически обрабатываемых и используемых под посевы сельскохозяйственных культур, поэтому подлежит особой охране.

Для успешной реализации схемы утилизации НС вместимость навозохранилищ должна соответствовать количеству образующихся

отходов, а площадь сельскохозяйственных угодий, которыми располагает предприятие, должна быть достаточной для размещения всего объёма обезвреженных НС в соответствии с действующими нормативами. Вместе с тем результаты обследований свиноводческих предприятий показали, что вместимость навозохранилищ соответствует фактическому накоплению навоза только в 1 хозяйстве из 10, кроме того, многие предприятия имеют недостаточное количество площадей для полной утилизации НС [3]. Низкая культура управления отходами свиноводства приводит к тому, что вместе с НС в пашню поступает широкий спектр загрязняющих веществ и не свойственных природным почвам микроорганизмов (МО) [4–6]. Даже навоз, полученный от клинически здоровых свиней и хранящийся в лагунах (прудах-накопителях), становится потенциальным источником загрязнения почвы бактериями группы кишечной палочки [7]. В настоящее время, в связи с широким распространением зоонозных заболеваний, проблема переноса МО от свиней через НС в окружающую среду приобретает особую актуальность и практическую значимость [8–11].

Цель настоящего исследования состояла в изучении влияния жидкой фракции навозных стоков свиноферм на санитарное состояние пашни.

Объекты и методы исследования

Для оценки воздействия НС на санитарное состояние пашни было выбрано пахотное поле (ПП), расположенное вблизи крупного свинокомплекса Кировской области. На протяжении 5 лет в качестве органического удобрения в это поле вносили обезвреженные свиные НС. Технология и нормы внесения НС периодиче-

ски изменялись. В настоящее время жидкая фракция НС (ЖФС) откачивается из лагун и с помощью буксируемой шланговой системы вносится в ПП на глубину до 50 см. Объём внесения ЖФС осенью 2021 г. по данным хозяйствующего субъекта составил 208 ± 16 м³/га. Жидкую фракцию вносили после уборки кукурузы на зелёную массу.

Санитарное состояние пашни оценивалось по совокупности физико-химических и биологических показателей. Отбор образцов почвы проводили методом конверта с глубины 25–30 см в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 и ГОСТ 17.4.4.02-84 в сентябре-октябре 2021 г., через 20 дней после внесения ЖФС. Контрольные пробы отбирали на расстоянии около 400 м от внешней границы поля. Почва контрольного и экспериментального участков имела одинаковый механический состав – средний суглинок. Места отбора проб указаны на рисунке.

Химический анализ отобранных образцов почвы выполняли на базе Вятского государственного университета (табл. 1 и 2). Микробиологические и гельминтологические исследования проводили в Кировском государственном медицинском университете, они включали определение общего микробного числа (ОМЧ), являющегося показателем биологической активности почвы, установление титра и индекса бактерий группы кишечной палочки (БГКП), *Clostridium perfringens*, *Enterococcus* spp., наличие термофильных бактерий, сальмонелл, яиц гельминтов [12]. Сбор материала для микробиологических исследований осуществляли в стерильные ёмкости. Пробы доставляли в лабораторию в течение 1 суток с момента отбора. О количественном и качественном составе микробиоты судили по результатам культивирования. Для этого осуществляли ряд серийных десятикратных



Рис. Участки пробоотбора:

1 – экспериментальный участок,

2 – контрольный участок

Fig. Sampling points:

1 – experimental area, 2 – control area

разведений с последующим высевом материала на стандартные и специализированные питательные среды (модифицированный агаровый чашечный метод ОФС.1.7.2.0008.15), определением концентрации микробных клеток (КОЕ/г) и идентификацией МО с использованием биохимических тестов ERVALachema: АНАЭРОтест23, ЭНТЕРОтест 24N, СТАФИтест16, СТРЕПТОтест16, САНДИДАтест21.

Все экспериментальные исследования проводили в трёхкратной повторности с последующей обработкой результатов стандартными методами с использованием встроенного пакета программ Excel, STATISTICA 10.

Результаты и обсуждение

Оценку влияния НС на химические свойства почвы выполняли на основе данных о содержании в отобранных образцах основных элементов минерального питания растений (азота, фосфора, калия, серы), органического вещества, а также тяжёлых металлов (ТМ), входящих (медь, цинк) и не входящих (кадмий, свинец) в состав минеральных подкормок для животных.

В таблице 1 приведены результаты химического анализа отобранных образцов в сравнении со средневзвешенными агрохимическими показателями пахотных почв Кировской области (данные агрохимического обследования сельскохозяйственных угодий предоставлены ФГБУ ГЦАС «Кировский»).

Приведённые в таблице 1 данные свидетельствуют о том, что регулярное внесение НС привело к существенному повышению содержания подвижных форм фосфора и калия в почве. Содержание соответствующих элементов в агрозёме в настоящее время превышает уровень, необходимый для оптимального развития растений. Содержание фосфора и калия в контрольных образцах почвы, взятых на относительно небольшом расстоянии от ПП, также находится на высоком уровне, не характерном для дерново-подзолистых почв Кировской области [13].

В таблице 2 приведены данные о содержании ТМ в отобранных пробах, полученные атомно-абсорбционным методом с помощью спектрометра ААС «Спектр-5-4».

Согласно результатам химического анализа, содержание ТМ в образцах почвы не превышает установленные гигиенические нормативы ПДК (СанПин 1.2.3685-21). Вместе

Таблица 1 / Table 1

Химический состав отобранных образцов почвы / Agrochemical research of soil

Показатели Indicators	Метод анализа Analysis method	Опытные образцы Test samples	Контрольные образцы Control samples	Средневзвешенные агрохимические показатели пахотных почв Кировской области Weighted average agrochemical index of arable soils of the Kirov region
pH _{водн.} pH _{water}	ГОСТ 26423-85 GOST 26483-85	6,2±0,1	6,7±0,1	нет данных missing data
pH _{KCl}	ГОСТ 26483-85 GOST 26483-85	5,9±0,1	6,3±0,1	4,8
Азот (NO ₃ ⁻), мг/кг Nitrogen (NO ₃ ⁻), mg/kg	ГОСТ Р 53219-2008	3,0±0,9	1,3±0,4	нет данных missing data
Азот (NH ₄ ⁺), мг/кг Nitrogen (NH ₄ ⁺), mg/kg	GOST R 53219-2008	18±5	12,3±3,4	
Фосфор подвижный (P ₂ O ₅), мг/кг Mobile phosphorus (P ₂ O ₅), mg/kg	ГОСТ Р 54650-2011	1170±230	360±70	107
Калий подвижный (K ₂ O), мг/кг Mobile potassium (K ₂ O), mg/kg	GOST R 54650-2011	850±130	134±20	122
Сера подвижная, мг/кг Mobile sulfur, mg/kg	ГОСТ 26490-85 GOST 26490-85	10,4±0,8	6,0±0,5	5,9
Органическое вещество, % Organic matter, %	ГОСТ 26213-91 GOST 26213-91	5,3±0,8	1,60±0,31	2,1

Таблица 2 / Table 2

Содержание тяжёлых металлов в отобранных образцах почвы, мг/кг
The heavy metals content in selected soil samples, mg/kg

Показатели Indicators	Опытные образцы / Test samples		Контрольные образцы / Control samples	
	валовая форма gross form	подвижная форма movable form	валовая форма gross form	подвижная форма movable form
Zn	54±18	3,2±1,1	46±15	2,9±1,0
Cu	21±5	2,9±0,7	12,0±3,0	1,21±0,30
Cd	0,23±0,07	0,080±0,030	0,21±0,06	0,070±0,030
Pb	7,8±2,0	0,81±0,20	5,3±1,3	0,54±0,13

Примечание: жирным шрифтом выделены достоверные отличия ($P > 0,95$) между экспериментальными и контрольными образцами.

Note: bold type indicates significant differences ($P > 0.95$) between the experimental and control samples.

с тем, в пахотном горизонте ПП наблюдается накопление меди. Источником данного ТМ могут быть медьсодержащие минеральные добавки, включаемые в рацион животных. Кроме меди в состав минеральных добавок обычно входит цинк, однако этот элемент проявляет более высокую миграционную способность, что сдерживает его накопление в пахотном горизонте [14]. Содержание кадмия и свинца в экспериментальных образцах статистически значимо не отличается от содержания соответствующих элементов в контрольных образцах. Внесение необеззараженных НС и их

жидкой фракции в почву приводит к бактериальному загрязнению последней, при этом патогенные МО могут сохранять жизнеспособность длительное время (в течение 4–6 месяцев и более) после попадания в почву. Лабораторный контроль эффективности обеззараживания НС осуществляют по выживаемости индикаторных МО: кишечной палочки, энтерококков, стафилококков, аэробных спорообразующих бактерий [15].

Санитарно-бактериологические показатели исследуемых образцов почвы представлены в таблице 3.

Общая численность МО (табл. 3) в опытных образцах почвы была значительно выше нормативных значений и контрольных образцов. Одновременное обнаружение бактерий *E. coli* и *C. perfringens*, а также термофильных бактерий свидетельствует о свежем сильном загрязнении опытных образцов фекальными массами. Контрольные образцы почвы по показателям БГКП и *C. perfringens* отнесены к умеренно загрязнённым. Индекс энтерококков в 6 раз превышал значения контрольных образцов. Уровень загрязнения опытных проб сальмонеллами был в 116 раз выше, чем уровень загрязнения контрольных проб. Следует отметить, что сальмонеллы являются устойчивыми во внешней среде и патогенными МО для человека и животных.

Известно, что микробиоценоз почвы зависит от микробного состава СНС. В проведённых нами ранее исследованиях НС обнаружено 6 видов анаэробных и 7 видов факультативных аэробных МО, среди которых преобладали *Peptostreptococcus* sp. (*P. anaerobius*) и *Peptoniphilus* sp. (*P. asaccharolyticus*), присутствовали *Klebsiella* sp., *Enterococcus* sp., *Escherichia coli*, *Proteus* spp., *Bacteroides fragilis*, *Fusobacterium nucleatum*, *Clostridium* spp., *Staphylococcus epidermidis*, *Salmonella aureus*, *Alistipes putredinis* (*A. putredinis*), *Prevotella* spp. (*P. bivia*, *P. intermedia*), а также грибы *Candida* sp. [16–18]. Все эти МО в составе НС попадали в почву. Результаты микробиологического анализа отобранных образцов почвы приведены в таблице 4.

Согласно полученным результатам, микробное разнообразие контрольных образцов почвы оказалось более бедным. В результате

исследований удалось выявить 12 видов МО, среди которых доминировали грибы *Alternaria alternate* (89,9%) и *Botrytis cinerea* (0,79%), а также дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* (8,99%). В контрольных образцах отсутствовали *Lactobacillus* spp., *Eubacterium* spp., *Proteus* spp., *Pseudomonas* spp., *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *Bacillus megaterium*, *Clostridium septicum*, а также *Actinomyces* spp., которые идентифицированы в экспериментальных образцах почвы. В значительно меньших количествах в контрольных образцах по сравнению с опытными были представлены *Pseudoramibacter* spp., *E. coli*, *Bacillus cereus*, *B. subtilis*, *Bifidobacterium* spp., *Clostridium putrificum*, *Alternaria alternate*, *Botrytis cinerea*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Salmonella enteritidis*. Количество МО контрольных образцов находилось в пределах низкой и средней степени микробной контаминации.

В опытных образцах почвы были представлены анаэробные и факультативно аэробные МО, дрожжи, плесневые грибы. Уровень контаминации соответствует высокой степени. В образцах почвы в значительных количествах присутствуют как представители нормальной микрофлоры желудочно-кишечного тракта свиней (*Lactobacillus* spp., *Bifidobacterium* spp., *Eubacterium* spp., *E. coli*, *Enterococcus* spp.), так и потенциальные возбудители болезней (*Salmonella enteritidis*). В опытных пробах преобладают *Alternaria alternate* (32,83%), *Saccharomyces cerevisiae* (28,14%), *Clostridium sporogenes* (32,83%). Наличие микробов родов *Bifidobacterium* и *Pseudoramibacter* свидетельствует о свежем биологическом загрязнении почвы.

Таблица 3 / Table 3

Санитарно-бактериологические показатели почвы
Sanitary and bacteriological indicators of soil

Показатели Index		Опытные образцы Test samples	Контрольные образцы Control samples
ОМЧ, КОЕ/г / Total microbial count, CFU/g		$(5,0 \pm 0,8) \cdot 10^8$	$(1,0 \pm 0,6) \cdot 10^4$
БГКП <i>Escherichia coli</i>	индекс, КОЕ/г / index, CFU/g	27	6
	титр / titer	10^{-3}	10^{-2}
Индекс энтерококков, КОЕ/г <i>Enterococcus</i> index, CFU/g		18	3
<i>Clostridium perfringens</i>	индекс, КОЕ/г / index, CFU/g	11	7
	титр / titer	10^{-5}	10^{-2}
Термофильные бактерии, КОЕ/г Thermophilic bacteria, CFU/g		$(8,0 \pm 0,2) \cdot 10^6$	$(6,0 \pm 1,6) \cdot 10^3$
Сальмонеллы, в том числе патогенные, КОЕ/г Salmonella, including pathogenic, CFU/g		$(7,0 \pm 1,8) \cdot 10^3$	$(6,0 \pm 1,9) \cdot 10$
Яйца гельминтов, экз./кг Helminth eggs, ind./kg		отсутствуют not found	

Таблица 4 / Table 4

Микробиоценоз почвы, КОЕ/мл / Microbiocenosis of soil, CFU/mL

Микроорганизмы Microorganisms		Опытные образцы Test samples	Контрольные образцы Control samples
<i>Bifidobacterium</i> spp.		$(7,0 \pm 0,8) \cdot 10^5$	$(6,0 \pm 1,4) \cdot 10^3$
<i>Lactobacillus</i> spp.		$(6,0 \pm 1,2) \cdot 10^5$	отсутствуют not found
<i>Eubacterium</i> spp.		$(8,0 \pm 0,9) \cdot 10^7$	
<i>Proteus</i> spp.		$(6,0 \pm 1,2) \cdot 10^5$	
<i>Pseudomonas</i> spp.		$(7,0 \pm 1,2) \cdot 10^6$	
<i>Pseudoramibacter</i> spp.		$(7,0 \pm 1,3) \cdot 10^6$	$(6,0 \pm 1,9) \cdot 10^3$
<i>Escherichia coli</i>		$(7,0 \pm 1,3) \cdot 10^6$	$(6,0 \pm 1,9) \cdot 10^3$
<i>Enterococcus</i>	<i>faecalis</i>	$(7,0 \pm 0,4) \cdot 10^5$	отсутствуют not found
	<i>faecium</i>	$(7,0 \pm 0,9) \cdot 10^4$	
<i>Bacillus</i>	<i>cereus</i>	$(8,0 \pm 1,3) \cdot 10^5$	$(6,0 \pm 0,8) \cdot 10^2$
	<i>subtilis</i>	$(7,0 \pm 1,1) \cdot 10^6$	$(8,0 \pm 1,1) \cdot 10^2$
	<i>megaterium</i>	$(6,0 \pm 0,9) \cdot 10^5$	отсутствуют not found
<i>Clostridium</i>	<i>sporogenes</i>	$(7,0 \pm 1,6) \cdot 10^8$	
	<i>putrificum</i>	$(6,0 \pm 0,6) \cdot 10^5$	$(5,0 \pm 1,3) \cdot 10^2$
	<i>bifermantans</i>	$(7,0 \pm 1,5) \cdot 10^5$	$(8,0 \pm 0,7) \cdot 10^3$
	<i>septicum</i>	$(6,0 \pm 1,4) \cdot 10^5$	отсутствует / not found
<i>perfringens</i>	$(6,0 \pm 0,6) \cdot 10^5$		
<i>Salmonella enteritidis</i>		$(7,0 \pm 1,8) \cdot 10^3$	$(6,0 \pm 1,9) \cdot 10^1$
<i>Alternaria alternate</i>		$(7,0 \pm 1,4) \cdot 10^8$	$(8,0 \pm 0,8) \cdot 10^6$
<i>Botrytia cinerea</i>		$(8,0 \pm 0,6) \cdot 10^6$	$(7,0 \pm 0,8) \cdot 10^4$
<i>Actinomyces</i>	spp.	$(8,0 \pm 1,1) \cdot 10^5$	отсутствуют not found
	<i>israelii</i>	$(6,0 \pm 0,7) \cdot 10^5$	
	<i>naeslundii</i>	$(8,0 \pm 0,9) \cdot 10^6$	
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>		$(6,0 \pm 0,9) \cdot 10^8$	$(8,0 \pm 1,5) \cdot 10^5$

Как в опытных, так и в контрольных образцах почвы присутствовали плесневые грибы *Alternaria alternate* и *Botrytia cinerea*, а также патогенные бактерии рода *Salmonella* (*S. enteritidis*). Обнаружение в опытных и контрольных образцах одинаковых МО свидетельствует о том, что жидкие фракции НС способны загрязнять не только земли сельскохозяйственных угодий, но и смежные территории на значительные расстояния.

Заключение

В результате выполненных исследований установлено, что продолжительное внесение больших объемов НС в пашню, расположенную вблизи животноводческих предприятий, приводит к чрезмерному накоплению в пахотном горизонте подвижных форм фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O), а также повышению содержания меди и цинка, входящих в состав минеральных добавок и премиксов для животных. Высокий уровень подвижного фосфора и калия в почве свидетельствует о глубокой

трансформации естественных геохимических процессов под влиянием НС.

В микробиологическом профиле почвы, удобряемой навозными стоками, появляются МО, характерные для нативных НС, включая *Lactobacillus* spp., *Eubacterium* spp., *Proteus* spp., *Pseudomonas* spp., *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*, *Bacillus megaterium*, *Clostridium sporogenes*, *Clostridium septicum*, *Actinomyces* spp. (*A. israelii*, *A. naeslundii*). Соответствующие МО не идентифицируются в незагрязнённых НС почвах. Количественное содержание МО, в том числе условно-патогенных, в опытных образцах значительно выше, чем в контрольных. Таким образом, внесение даже обезвреженной в лагунах жидкой фракции НС, приводит к изменению микробиоты земель сельскохозяйственных угодий, и представляет угрозу микробиологического загрязнения сопредельных территорий.

Интенсификация отрасли промышленного свиноводства диктует необходимость модернизации действующей системы обработки и утилизации образующихся отходов, а также осуществление регулярного мониторинга тер-

риторий, прилегающих к животноводческим предприятиям. Недостаток внимания к экологическому мониторингу может привести к серьёзным проблемам, связанным с химическим и биологическим загрязнением окружающей среды широким спектром поллютантов, присутствующих в НС.

References

1. Komyakova Ye.M., Antonova O.I. The composition of cattle and swine manure, features of use and prospects for recycling // Bulletin of Altai State Agrarian University. 2020. No. 6 (188). P. 63–68 (in Russian).
2. Terentev Yu.N., Syrchina N.V., Ashikhmina T.Ya., Pilip L.V. Reducing the emission of odor-forming substances in the conditions of 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
3. Intensive rearing of pigs: information and technical guide to best available technologies IRP 41-2107 [Internet resource] <http://docs.cntd.ru/document/556173711> (Accessed: 04.06.2022).
4. 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 // Journal of Environmental Sciences. 2011. No. 23. P. 497–505. doi: 10.1016/s1001-0742(10)60434-2
5. Duan G., Zhang H., Shen Y., Li G., Wang H., Cheng W. Mitigation of heavy metal accumulation in rice grain with silicon in animal manure fertilized field // Environmental Engineering and Management Journal. 2016. V. 15. No. 10. P. 2223–2229. doi: 10.30638/eemj.2016.241
6. Betancur O., Betancourt J., Estrada J., Henao F.J. Clinical significance of the persistence of pathogens in pig (*Sus scrofa*) manure used as biofertilizer and food // International Journal of Research in Agriculture and Forestry. 2017. V. 4. No. 9. P. 1–9.
7. Petkov G.S., Kostadinova G.S., Denev S.A., Mihaylova G.S., Pavlov D.C. Microbial pollution of soil around slurry storage lagoons at a pig-farm // Applied Soil Ecology. 2006. V. 34. No. 1. P. 10–18.
8. Cotta M.A., Whitehead T.R., Zeltwanger R.L. Isolation, characterization and comparison of bacteria from swine faeces and manure storage pits // Environmental Microbiology. 2003. V. 5. No. 9. P. 737–745. doi: 10.1046/j.1467-2920.2003.00467
9. Abu-Ashour J., Joy D.M., Lee H., Whiteley H.R., Zelin S. Transport of microorganisms through soil // Water, Air and Soil Pollution. 1994. No. 75. P. 141–158.
10. Głodowska M., Wozniak M. Changes in soil microbial activity and community composition as a result of selected agricultural practices // Agricultural Sciences. 2019. V. 10. No. 3. P. 330–351.
11. Usuia M., Kawakura M., Yoshizawa N., San L.L., Nakajima C., Suzuki Y., Tamura Y. Survival and prevalence of *Clostridium difficile* in manure compost derived from pigs // Anaerobe. 2017. V. 43. P. 15–20. doi: 10.1016/j.anaerobe.2016.11.004
12. Methods of microbiological control of soil. Methodological recommendations [Internet resource] <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293737/4293737876.htm> (Accessed: 04.06.2022).
13. Kolchanov V.I., Prokashev A.M. Nature, economy, ecology of the Kirov region: collection of articles. Kirov: Vyatka, 1996. 589 p. (in Russian).
14. Karathanasis A.D. Subsurface migration of copper and zinc mediated by soil colloids // Soil Science Society of America Journal. 1999. V. 63. P. 830–838. doi: 10.2136/sssaj1999.634830x
15. Uvarov R., Shalavina E., Briukhanov A., Vasilev E. Aerobic solid-state fermentation of the solid fraction of pig slurry // Agronomy Research. 2020. V. 18. Special No. 2. P. 1537–1546. doi: 10.15159/AR.20.071
16. Methodical recommendations on designing the systems of disposal, processing, disinfection, storage and recycling of manure RD-APK 3.10.15.01-17 [Internet resource] <https://docs.cntd.ru/document/495876347> (Accessed: 04.06.2022).
17. Pilip L.V., Kozvonin V.A., Syrchina N.V., Kolevatykh E.P., Ashikhmina T.Ya. Effect of acidification of manure runoff on their microbiological characteristics // Theoretical and Applied Ecology. 2020. No. 3. P. 161–167 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-161-167
18. 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