

Научная статья

УДК 631.46:579.63

DOI 10.46845/1997-3071-2024-75-40-51

Бактерии рода *Proteus* в побочных продуктах животноводства и почве

Лариса Валентиновна Пилип¹, Надежда Викторовна Сырчина²

¹Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

²Вятский государственный университет, Киров, Россия

¹pilip_larisa@mail.ru*, <http://orcid.org/0000-0001-9695-7146>

²nvms1956@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8049-6760>

Аннотация. Применение побочных продуктов животноводства в качестве органических удобрений сопряжено с риском загрязнения окружающей среды широким спектром разнообразных микроорганизмов (МО), в том числе санитарно-показательными бактериями рода *Proteus spp.* В рамках настоящей работы проанализированы пробы почвы, отобранные на пахотном поле, удобряемом откачиваемой из лагун обезвреженной жидкой фракцией свиных навозных стоков (ЖФ), а также пробы почвы, отобранные на расстоянии 500–600 м от границ поля. Во всех пробах выявлены *P. vulgaris* (показатель загрязнения почвы органическими веществами животного происхождения) и *P. mirabilis* (показатель фекального загрязнения). Количество *Proteus spp.* в удобряемой ЖФ пашне оказалось выше, чем в свином кале и свежей ЖФ (сразу после сепарации), т. е. почва является хорошей средой обитания для бактерий этого рода. Территории, находящиеся в сфере влияния животноводческих комплексов, можно рассматривать в качестве мест резервации условно-патогенных бактерий рода *Proteus*. Влияние различных способов обработки ЖФ на численность *Proteus* оценивали в лабораторных условиях. Для обработки ЖФ использовали различные типы сурфактантов (катионные, анионные, неионогенные), гипохлорит натрия, серную кислоту (подкисление до pH 5,5), а также приемы аэрации и создания анаэробных условий. Время наблюдений составило 14 суток. Для микробиологических исследований использовали образцы сформировавшихся на поверхности ЖФ биопленок и бактериопланктона. Количество *Proteus spp.* в биопленках всех вариантов эксперимента оказалось на 2–3 порядка ниже, чем в бактериопланктоне. Аэрация и анаэробные условия на численность *Proteus spp.* влияния не оказали. Применение неионогенного поверхностно-активного вещества (ПАВ) и подкисление снизило численность *Proteus spp.* в 10 раз, обработка ЖФ NaOCl, катионным и анионным ПАВ привела к снижению количества соответствующих бактерий на 2 порядка.

Ключевые слова: *Proteus*, санитарно-показательные микроорганизмы, навозные стоки, загрязнение почвы.

Для цитирования: Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Бактерии рода *Proteus* в пробочных продуктах животноводства и почве // Известия КГТУ. 2024. № 75. С. 40-51. DOI: 10.46845/1997-3071-2024-75-40-51.

Original article

Proteus bacteria in animal by-products and soil

Larisa V. Pilip¹, Nadezhda V. Syrchina²

¹Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

²Vyatka State University, Kirov, Russia

¹pilip_larisa@mail.ru*, <http://orcid.org/0000-0001-9695-7146>

²nvms1956@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8049-6760>

Abstract. The use of animal by-products as organic fertilizers is associated with the risk of environmental pollution by a wide range of various microorganisms, including sanitary-indicative bacteria of the genus *Proteus* spp. The article analyzed soil samples taken in an arable field fertilized by the neutralized liquid fraction of pig manure effluent (ME) pumped out of lagoons, as well as soil samples harvested at a distance of 500–600 m from the boundaries of the field. *P. vulgaris* (an indicator of soil contamination with organic substances of animal origin) and *P. mirabilis* (an indicator of fecal contamination) were detected in all samples. The amount of *Proteus* spp. in the arable land fertilized with ME turned out to be higher than in pig feces and fresh ME (immediately after separation), so the soil is a good habitat for bacteria of this genus. Territories under the influence of livestock complexes can be considered as places of reservation of opportunistic bacteria of the genus *Proteus*. The effect of various methods of processing the liquid fraction on the number of *Proteus* was evaluated in the laboratory. Various types of surfactants (cationic, anionic, nonionic), sodium hypochlorite, sulfuric acid (acidification to pH 5,5), as well as methods of aeration and creation of anaerobic conditions were used for the processing of liquid fraction. The observation time was 14 days. Samples of biofilms and bacterioplankton were used for microbiological research. The number of *Proteus* spp. in the biofilms of all experimental variants turned out to be 2–3 orders lower than in bacterioplankton. Aeration and anaerobic conditions had no effect on the abundance of *Proteus* spp. The use of nonionic surfactants and acidification reduced the number of *Proteus* spp. by 10 times, processing with NaOCl, cationic and anionic surfactants led to a decrease in the number of corresponding bacteria by 2 orders.

Keywords: *Proteus*, sanitary-indicative microorganisms, manure effluents, soil contamination.

For citation: Pilip L. V., Syrchina N. V. *Proteus* bacteria in animal by-products and soil // *Izvestiya KGTU=KSTU News*. 2024;(75): 40-51. (In Russ.). DOI: 10.46845/1997-3071-2024-75-40-51.

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование современных промышленных агрохолдингов приводит к образованию большого количества побочных продуктов животноводства (ППЖ), в число которых входят навоз животных (НЖ) и навозные стоки (НС). Согласно Закону № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», обработанные ППЖ могут быть использованы в сельском хозяйстве для обеспечения воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения. При внесении ППЖ в почву не допускается загрязнение окружающей среды (ОС) и ее компонентов токсичными элементами, пестицидами, паразитами, патогенными и болезнетворными МО [1]. Выполнение данного требования представляет серьезную проблему для животноводческих предприятий, поскольку НЖ и НС являются хорошей питательной средой для развития разнообразной биоты, а традиционные методы обработки ППЖ (накопление и выдерживание жидкой фракции НС в лагунах и компостирование твердых фракций на специализированных площадках) не позволяют гарантировать полную микробиологическую безопасность подготовленных для внесения в почву удобрений [2]. В связи с этим особую актуальность и практическую значимость приобретают исследования, направленные на снижение рисков биологического загрязнения окружающей среды ППЖ и обеспечение санитарного благополучия территорий, находящихся в сфере влияния животноводческих предприятий [3].

Выбор объекта исследований – бактерий рода *Proteus* – обусловлен следующими факторами:

- соответствующие бактерии относятся к санитарно-показательным микроорганизмам (СПМ) группы А (обитатели кишечника человека и животных);

- *Proteus mirabilis* рассматривают как показатель фекального загрязнения, а *Proteus vulgaris* – как показатель загрязнения объекта органическими веществами животного происхождения, при этом оба вида являются типичными представителями микробиома желудочно-кишечного тракта человека и животных [4];

- *Proteus* – условно-патогенные энтеробактерии, обладающие значительным патогенным потенциалом [5];

- данные бактерии способны вызывать гнойно-септические инфекции различной локализации, уроинфекции, диарею и другие заболевания [6, 7, 8], поэтому выявление мест резервации соответствующих МО в окружающей среде имеет большое санитарно-эпидемиологическое значение;

- *Proteus spp.* проявляет множественную устойчивость к антибиотикам, что сопряжено с высокими рисками переноса генов антибиотикорезистентности в окружающую среду [9, 10]. Генетические механизмы, способствующие приобретению генов устойчивости к различным классам антибиотиков, могут превратить такого типичного представителя рода *Proteus*, как *P. mirabilis*, в пандемически опасную бактерию, приводящую к трудноизлечимым инфекциям [11, 12].

Цель работы – оценить содержание бактерий рода *Proteus* в свиных навозных стоках и в почвах, удобряемых стоками, выявить перспективные

методы обработки ППЖ, способствующие снижению численности бактерий рода *Proteus*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в Кировской области в октябре 2023 г. Предметом исследований явились почвы, удобряемые ППЖ, почвы смежных территорий, свиные навозные стоки, кал животных.

Исследования включали изучение контаминации бактериями рода *Proteus* почвы удобряемых ППЖ пахотных земель и прилегающих территорий, а также оценку влияния различных способов обработки ППЖ на численность соответствующих МО.

Пробы почвы для микробиологических и химических исследований отбирали на пахотном поле, удобряемом откачиваемой из лагун обезвреженной ЖФ свиных НС («Поле»), и на заросшем лесом участке, расположенном на расстоянии 500–600 м от границ пахотного поля за пределами санитарно-защитной зоны (СЗЗ) животноводческого предприятия («Лес»). Почва пашни – агродерново-подзолистая среднесуглинистая, почва заросшего лесом участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая. Норма внесения ЖФ в пашню – 200 ± 20 т/га в год, сроки внесения – ежегодно в течение 7 лет в осенний и весенний периоды. ЖФ вносили внутрипочвенно с помощью буксируемой шланговой системы на глубину до 50 см. Поле использовали в кормовом севообороте, в год отбора проб на поле выращивали кукурузу на силос.

Все пробы почвы отбирали согласно ГОСТ 17.4.4.02-2017. Всего было отобрано 60 точечных проб (по 30 проб полевой и лесной почв), из них составляли объединенные пробы, которые использовали для выполнения исследований. Всего было проанализировано 6 объединенных проб. При отборе и обработке проб соблюдали правила асептики, исключая возможность вторичного микробиологического или химического загрязнения отбираемого материала. Методы химических исследований образцов почвы представлены в табл. 1.

Жидкую фракцию свиных НС получали путем сепарирования содержимого навозонакопительных ванн из цеха доращивания поросят в производственных условиях. Время нахождения НС в ваннах от начала заполнения до удаления (самосплавная система) – 14 суток, влажность ЖФ – 98 ± 1 %, pH – $6,8 \pm 0,2$. Пробы ЖФ отбирали в стерильные емкости сразу после сепарирования.

Пробы кала свиней отбирали в стерильные пробирки из прямой кишки при помощи стерильного ватного тампона. Навеску разводили в стерильном физиологическом растворе в соотношении 1:10. При отборе и транспортировании проб в специализированную микробиологическую лабораторию соблюдали правила асептики.

Обработку ЖФ проводили в условиях химической лаборатории. Для обработки использовали различные типы ПАВ, серную кислоту (H_2SO_4), гипохлорит натрия (NaOCl), а также приемы аэрации и создания анаэробных условий. При подборе реагентов учитывали следующее: реагенты в используемых дозировках не должны представлять опасность для животных, работников предприятия и окружающей среды; реагенты должны быть доступными и

экономичными; добавка реагентов должна обеспечивать бактерицидный или бактериостатический эффект.

Варианты эксперимента:

- 1) ЖФ без добавок (контроль);
- 2) ЖФ + раствор H_2SO_4 (10% масс.) до $pH = 5,5$;
- 3) ЖФ + $NaOCl$ ($1\text{ см}^3/\text{дм}^3$ раствора с массовой долей $NaOCl$ в растворе 6%);
- 4) ЖФ + катионное ПАВ – бензалкония хлорид ($0,01\text{ г}/\text{дм}^3$);
- 5) ЖФ + неионогенное ПАВ – оксид лаурилдиметиламина ($0,01\text{ г}/\text{дм}^3$);
- 6) ЖФ + анионное ПАВ – лауретсульфат натрия ($0,01\text{ г}/\text{дм}^3$);
- 7) аэрация ЖФ кислородом воздуха;
- 8) выдерживание ЖФ в анаэробных условиях.

Образцы ЖФ помещали в стерильные пятилитровые пластиковые емкости (по 4 дм^3 в каждую емкость), вносили реагенты, перемешивали, закрывали емкости стерильными ватно-марлевыми пробками и оставляли в лабораторном помещении при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ на 14 суток. Для аэрации ЖФ использовали воздушный регулируемый компрессор AP-45R ($2 \times 180\text{ дм}^3/\text{час}$) с керамическими распылителями. Распылители погружали на дно емкостей с ЖФ. Расход воздуха устанавливали на уровне $60\text{ дм}^3/\text{час}$, аэрацию проводили круглосуточно на протяжении 14 суток. Для обеспечения анаэробных условий емкости с ЖФ закрывали пробками с газоотводными трубками, удаление образующихся газов из емкостей осуществляли через водяной затвор.

В вариантах 1–6 за время наблюдений на поверхности ЖФ сформировались биопленки, поэтому для микробиологических исследований использовали образцы соответствующих биопленок и образцы бактериопланктона, который отбирали с глубины 10–12 см. В варианте 8 сплошные биопленки не сформировались, поэтому анализировали только бактериопланктон.

В микробиологической лаборатории осуществляли ряд серийных десятикратных разведений образцов почвы, нативного кала, нативной ЖФ и ЖФ после обработки реагентами с высевом микробного материала на стандартную питательную среду (мясо-пептонный агар) в соответствии с ОФС.1.7.2.0008.15 (модифицированный агаровый чашечный метод), с последующим определением концентрации микробных клеток (КОЕ/г) и идентификацией МО, в том числе протея, с использованием биохимических тестов ЭнтероТест (Lachema, Чехия). Протеи растут на простых питательных средах, температурный оптимум $35\text{--}37^\circ\text{C}$, оптимум $pH\ 7,2\text{--}7,4$. Рост бактерий сопровождался появлением характерного гнилостного запаха.

Все исследования проводили в трехкратной повторности. Статистическую обработку результатов выполняли стандартными методами на основе встроенного пакета программ Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены данные, характеризующие химический состав и свойства отобранных образцов почвы.

Таблица 1. Химический состав и свойства отобранных образцов почвы
Table 1. Chemical composition and properties of selected soil samples

Показатели	Значения		Метод анализа
	Поле	Лес	
pH _{KCl}	4,9±0,2	4,2±0,1	Ионометрический по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85)
Фосфор подвижный (P ₂ O ₅), мг/кг	754±140	178±34	Фотометрический по ГОСТ Р 54650-2011
Калий подвижный (K ₂ O), мг/кг	345±46	135±34	
Сумма поглощенных оснований, мг-экв./100 г	16,0±2,3	5,6±0,7	По методу Каппена (ГОСТ 27821 – 2020)
Азот нитратный (N-NO ₃ ⁻), мг/кг	8,8±1,6	5,3±0,9	Метод ионной хроматографии на ионном хроматографе «Стайер» в водной вытяжке из почвы по ФР.1.31.2005.01724 и ФР.1.31.2008.01738
Азот аммонийный (N-NH ₄ ⁺), мг/кг	2,3±0,4	0,4±0,1	
Сера подвижная, мг/кг	8,4±1,8	5,0±1,4	По методу ЦИНАО (ГОСТ 26490-85)
Органическое вещество, %	4,4±0,6	2,2±0,4	Метод Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91)

Различия всех приведенных в табл. 1 показателей для образцов почвы «Поле» и «Лес» статистически значимы ($P < 0,05$). Удобрямая ЖФ пашня характеризовалась очень высоким содержанием подвижных форм фосфора, высоким содержанием подвижного калия и более высокими значениями всех остальных показателей по сравнению с почвой, отобранной на заросших лесом участках. Бактерии *P.vulgaris* (индикаторы загрязнения почвы органическими веществами) и *P.mirabilis* (индикаторы фекального загрязнения) были выявлены во всех пробах почвы (табл. 2), однако численность соответствующих МО в почве пахотного поля была на 1–2 порядка выше, чем в лесной почве.

Таблица 2. Видовое разнообразие бактерий Proteus в образцах почвы, КОЕ/г
Table 2. Species diversity of Proteus bacteria in soil samples, CFU/g

Микроорганизмы	Количество бактерий <i>Proteus spp.</i> , КОЕ/г	
	Поле	Лес
<i>Proteus spp.</i>	$(6,5 \pm 0,8) \cdot 10^6$	$(4,0 \pm 0,7) \cdot 10^4$
<i>P.vulgaris</i>	$(6,2 \pm 0,9) \cdot 10^3$	$(8,6 \pm 0,3) \cdot 10^2$
<i>P.mirabilis</i>	$(7,8 \pm 0,2) \cdot 10^5$	$(3,0 \pm 0,6) \cdot 10^3$

Наличие *P.vulgaris* и *P.mirabilis* в пробах свидетельствует о биологическом загрязнении почвы пахотного поля и прилегающих территорий. Источником соответствующего загрязнения являются свиные НС. Выявление *P.vulgaris* и *P.mirabilis* в значимых количествах ($8,6 \cdot 10^2$ и $3,0 \cdot 10^3$ КОЕ/г соответственно) в почве за пределами санитарно-защитной зоны дает основание предположить, что традиционная система обезвреживания НС (разделение НС на твердую (ТФ) и

жидкую фракции с последующим выдерживанием ЖФ в лагунах, а ТФ на специальных площадках) не позволяет предотвратить риски негативного воздействия на ОС. Для обеспечения более надежного результата требуются дополнительные способы обработки образующихся ППЖ.

В табл. 3 приведены данные, характеризующие влияние различных способов обработки на количество бактерий рода *Proteus* в биопленках и бактериопланктоне ЖФ через 14 суток после начала эксперимента (началом эксперимента считается момент внесения добавок и включения аэрации).

Таблица 3. Влияние различных способов обработки на количество бактерий *Proteus spp.* в жидкой фракции свиных навозных стоков

Table 3. The effect of various methods of processing on the number of bacteria *Proteus spp.* in the liquid fraction of pig manure effluents

Вариант	Способ обработки	Количество бактерий <i>Proteus spp.</i>	
		биопленка, КОЕ/г	бактериопланктон, КОЕ/см ³
1	Без обработки	$(7,1 \pm 0,3) \cdot 10^3$	$(6,2 \pm 0,8) \cdot 10^6$
2	H ₂ SO ₄	$(6,3 \pm 0,8) \cdot 10^2$	$(7,4 \pm 1,2) \cdot 10^5$
3	NaOCl	$(4,3 \pm 0,6) \cdot 10^2$	$(5,3 \pm 0,9) \cdot 10^4$
4	Бензалкония хлорид	$(7,5 \pm 0,5) \cdot 10^2$	$(2,6 \pm 0,3) \cdot 10^4$
5	Оксид лаурилдиметиламина	$(7,3 \pm 0,3) \cdot 10^2$	$(3,4 \pm 0,4) \cdot 10^5$
6	Лауретсульфат натрия	$(7,6 \pm 0,4) \cdot 10^2$	$(2,8 \pm 0,4) \cdot 10^4$
7	Аэрация	$(6,4 \pm 0,5) \cdot 10^3$	$(2,8 \pm 0,3) \cdot 10^6$
8	Анаэробные условия	пробы не отбирали	$(4,5 \pm 0,4) \cdot 10^6$

Количество *Proteus spp.* в свином кале составило $(7,0 \pm 0,5) \cdot 10^4$ КОЕ/г, а в ЖФ свиных НС до внесения добавок – $(6,6 \pm 0,7) \cdot 10^3$ КОЕ/см³.

Согласно результатам эксперимента, выдерживание ЖФ свиных НС в течение 14 суток (вариант 1) при температуре 20 ± 2 °С привело к увеличению численности *Proteus spp.* в бактериопланктоне на 3 порядка (по сравнению с численностью до внесения добавок). В биопленке (вариант 1) численность соответствующих МО практически не изменилась и соответствовала начальной численности этих МО в ЖФ (до внесения добавок). Количество *Proteus spp.* в биопленках всех вариантов эксперимента в конце эксперимента оказалось значительно ниже (на 2–3 порядка), чем в бактериопланктоне. То есть условия бактериопланктона являются более благоприятными для существования *Proteus spp.*, чем условия биопленок. Можно предположить, что данный эффект обусловлен подвижным образом жизни соответствующих МО. Вязкий полисахаридный матрикс биопленок ограничивает подвижность бактерий, что оказывает негативное влияние на их численность. Известно, что МО рода *Proteus* относятся к нитрификаторам, активно окисляющим аммиачный азот [13]. Возможно, содержание доступных для питания *Proteus* азотистых соединений в биопленках оказывается ниже, чем в растворе, поскольку соответствующие соединения активно метаболизируются бактериями рода *Clostridium*, занимающими в биопленках доминирующее положение [14, 15]. Дефицит азота

может стать дополнительным фактором, ограничивающим численность *Proteus* в биопленках.

В бактериопланктоне вариантов 1 (контроль), 7 (аэрация) и 8 (анаэробные условия) численность *Proteus spp.* за время наблюдений (14 суток) увеличилась на 3 порядка (по сравнению с ЖФ до внесения добавок), то есть уровень кислорода в ЖФ практически не повлиял на жизнеспособность *Proteus spp.* Известно, что соответствующие МО относятся к группе энтеробактерий, являющихся факультативными анаэробами, способными в условиях дефицита кислорода получать энергию за счет процесса брожения, а в кислородной среде – за счет дыхания. При разложении органических веществ факультативными аэробами выделяется широкий спектр дурно пахнущих соединений. Быстрое увеличение численности *Proteus spp.* в ЖФ, независимо от содержания кислорода, объясняет недостаточную эффективность приема аэрации для устранения запаха ППЖ.

Обработка ЖФ растворами реагентов способствовала снижению количества *Proteus spp.* на 1 порядок в биопленках и на 1–2 порядка в бактериопланктоне (по сравнению с контролем). То есть обитающие в биопленках *Proteus spp.* проявляют более высокую устойчивость к воздействию химических реагентов, что объясняется защитным действием полисахаридного матрикса. К наибольшему подавлению численности *Proteus spp.* в бактериопланктоне привели добавки NaOCl, анионных и катионных ПАВ. Воздействие ПАВ на микробиоту в основном связано с изменением проницаемости и дезорганизацией цитоплазматических мембран бактериальных клеток, а также со снижением активности связанных с мембранами ферментов [16]. Бактерицидное действие NaOCl обусловлено гидролизом соответствующей соли до хлорноватистой кислоты (HOCl), проявляющей выраженные окислительные свойства. Химическая трансформация HOCl сопровождается активным генерированием свободных радикалов и синглетного (метастабильного) кислорода, разрушающих клетки МО [17]. Механизм действия H₂SO₄ обусловлен сдвигом pH ЖФ в неблагоприятную для жизнедеятельности *Proteus* область (известно, что оптимум pH для этих бактерий составляет 7,2–7,4 [18]).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных исследований показали, что животноводческие предприятия являются источниками биологического загрязнения ОС санитарно-показательными МО группы А: *Proteus mirabilis* и *Proteus vulgaris*. Основным фактором переноса МО в окружающую среду выступают ППЖ, используемые в качестве органических удобрений. Количество бактерий рода *Proteus* в удобряемой свинными навозными стоками пашне оказалось выше, чем в свином кале и свежих навозных стоках, т. е. почва является хорошей средой обитания для бактерий этого рода. Территории, находящиеся в сфере влияния животноводческих комплексов, можно рассматривать в качестве мест резервации патогенных бактерий рода *Proteus* в окружающей среде.

Содержащиеся в навозе и НС бактерии рода *Proteus* проявляют высокую устойчивость к такому виду обработки, как аэрация, что обусловлено способностью этих МО существовать в аэробных и анаэробных условиях. В результате жизнедеятельности *Proteus* образуются разнообразные летучие

вещества с неприятным гнилостным запахом. Активное продуцирование соответствующих соединений снижает эффективность приема аэрации, используемого для устранения запаха НС.

Снижение численности планктонных форм *Proteus* на 2 порядка наблюдалось при обработке ЖФ НС раствором NaOCl, а также катионными и анионными ПАВ.

Результаты исследований могут быть использованы при изготовлении составов для обработки навозных стоков с целью улучшения их санитарных и экологических характеристик.

Список источников

1. Об утверждении требований к обращению побочных продуктов животноводства: Постановление Правительства РФ от 31.10.2022 № 1940. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202211030028> (дата обращения: 05.04.2024).
2. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Шалавина Е. В. Проблемы обеспечения экологической безопасности животноводства и наилучшие доступные методы их решения // Региональная экология. 2017. № 1 (47). С. 37–43.
3. Пилип Л. В. Анализ экологических рисков отрасли свиноводства в Кировской области // Вестник Вятской ГСХА. 2020. № 1(3). С. 1–5.
4. Drzewiecka D. Significance and Roles of *Proteus spp.* Bacteria in Natural Environments // Microbial Ecology. 2016. V. 72. P. 741–758.
5. Конищева А. С., Лещева Н. А., Плешакова В. И. Микробиологический спектр возбудителей при желудочно-кишечной патологии у животных // Вестник КрасГАУ. 2022. № 2(179). С. 106–112.
6. Распространенность и лекарственная устойчивость *Proteus spp.* в ортопедо-травматологических отделениях / С. И. Швед, З. С. Науменко, Л. В. Розова, Т. С. Шалагинова, Н. М. Ключин // Гений ортопедии. 2004. № 3. С. 20–24.
7. Armbruster C. E., Mobley H. L. T, Pearson M. M. Pathogenesis of *Proteus mirabilis* infection // EcoSal Plus. 2018. URL: <https://journals.asm.org/doi/epub/10.1128/ecosalplus.esp-0009-2017> (дата обращения: 18.05.2024).
8. *Proteus spp.* as putative gastrointestinal pathogens / A. L. Hamilton, M. A. Kamm, S. C. Ng, M. Morrison // Clinical microbiology reviews. 2018. V. 31. N 3. Article No. 10.1128/cmr. 00085-17.
9. High prevalence of multidrug resistant enterobacteriaceae isolated from wastewater and soil in Jos Metropolis, Plateau State, Nigeria / A. C. Ngene, C. G. Ohaegbu, I. E. Awom, J. O. Egbere, I. A. Onyimba, O. D. Coulthard // African Journal of Bacteriology Research. 2021. V. 13. N 2. P. 22–29.
10. Abdullrazizq A. A., Salih S. M. *Proteus* genus sensitivity testing for various classes of antibiotics // Scientific Journal for Faculty of Science-Sirte University. 2023. V. 3. N 2. P. 110–144.
11. Girlich D., Bonnin R. A., Dortet L., Naas T. Genetics of acquired antibiotic resistance genes in *Proteus spp.* // Antimicrobials, Resistance and Chemotherapy. 2020.

URL: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2020.0256/full> (дата обращения: 18.05.2024).

12. Anju M., Kuruvilla T. S. Characterization of genus *Proteus* isolated from various clinical specimens and detection of extended-spectrum β -lactamase production // *Chrismed Journal of Health and Research*. 2023. V. 10. N 1. P. 11–15.

13. Isolation and characterization of a heterotrophic nitrifier *Proteus mirabilis* strain V7 and its potential application in NH_4^+ -N removal / W. W. Zhang, Z. Y. Andong, M. Zhang, Q. N. Wang, Y. Q. Wei, & L. X. Chen // *Annals of microbiology*. 2014. V. 64. P. 1231–1238.

14. Трансформация микробиоты отходов животноводства под влиянием химических реагентов для устранения запаха / Е. П. Колеватых, Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, В. А. Козвонин, Т. Я. Ашихмина // *Теоретическая и прикладная экология*. 2022. № 4. С. 159–165.

15. Колиформные бактерии как компоненты биопленок навозных стоков / Л. В. Пилип, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Е. П. Колеватых // *Юг России: экология, развитие*. 2023. Т. 18. № 3(68). С. 118–125.

16. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Влияние синтетических поверхностно-активных веществ на микробный состав биопленки навозных стоков // *Известия КГТУ*. 2024. № 73. С. 24–35.

17. Влияние гипохлорита натрия на микробиоту и запах навозных стоков / Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Е. П. Колеватых, Т. Я. Ашихмина, Д. А. Кузнецов // *Поволжский экологический журнал*. 2023. № 1. С. 107–116.

18. Городова А. С., Тюменцева В. С. Выживаемость *Proteus* и *Klebsiella* на объектах внешней среды // *Научный электронный журнал «Меридиан»*. 2022. № 1(63). С. 135–137. URL: <https://meridian-journal.ru/site/article0eb3/?ysclid=m0duh8q0i4443024858> (дата обращения: 18.05.2024).

References

1. Ob utverzhdenii trebovaniy k obrashcheniyu pobochnykh produktov zhivotnovodstva: postanovlenie pravitelstva RF ot 31.10.2022 no. 1940 [On approval of requirements for the circulation of animal by-products: decree of the Government of the Russian Federation no. 1940 dated 31.10.2022]. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202211030028> (accessed 18 May 2024).

2. Bryukhanov A. Yu., Vasiliev E. V., Shalavina E. V. Problemy obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti zhivotnovodstva i nailuchshie dostupnye metody ikh resheniya [Challenges of environmental safety in livestock farming and best available methods to address them]. *Regionalnaya ekologiya*, 2017, no. 1 (47), pp. 37–43.

3. Pilip L. V. Analiz ekologicheskikh riskov otrasli svinovodstva v Kirovskoy oblasti [Analysis of environmental risks of the pig industry in the Kirov region]. *Vestnik Vyatskoy GSKhA*, 2020, no. 1(3), pp. 1–5.

4. Drzewiecka D. Significance and Roles of *Proteus spp.* Bacteria in Natural Environments. *Microbial Ecology*. 2016. V. 72. P. 741–758.

5. Konishcheva A. S., Leshcheva N. A., Pleshakova V. I. Mikrobiologicheskiy spektr возбуdiviteley pri zheludochno-kishechnoy patologii u zhivotnykh [Pathogens

microbiological spectrum in gastrointestinal pathology in animals]. *Vestnik KrasGAU*, 2022, no. 2, pp. 106–112.

6. Shved S. I., Naumenko Z. S., Rozova L. V., Shalaginova T. S., Klyushin N. M. Rasprostranennost' i lekarstvennaya ustoychivost' *Proteus spp.* v ortopedo-travmatologicheskikh otdeleniyakh [Prevalence and drug resistance of *Proteus spp.* in orthopedic and traumatology departments]. *Geniy ortopedii*, 2004, no. 3, pp. 20–24.

7. Armbruster C. E., Mobley H. L. T., Pearson M. M. Pathogenesis of *Proteus mirabilis* infection, *EcoSal Plus*, 2018, available at: <https://journals.asm.org/doi/epub/10.1128/ecosalplus.esp-0009-2017> (accessed 18 May 2024).

8. Hamilton A. L., Kamm M. A., Ng S. C., Morrison M. *Proteus spp.* as putative gastrointestinal pathogens. *Clinical microbiology reviews*. 2018. V. 31. N 3. Article No. 10.1128/cmr. 00085-17.

9. Ngene A. C., Ohaegbu C. G., Awom I. E., Egbere J. O., Onyimba I. A., Coulthard O. D. High prevalence of multidrug resistant enterobacteriaceae isolated from wastewater and soil in Jos Metropolis, Plateau State, Nigeria. *African Journal of Bacteriology Research*. 2021. V. 13. N 2. P. 22–29.

10. Abdulrazziq A. A., Salih S. M. *Proteus* genus sensitivity testing for various classes of antibiotics. *Scientific Journal for Faculty of Science-Sirte University*. 2023. V. 3. N 2. P. 110–144.

11. Girlich D., Bonnin R. A., Dortet L., Naas T. Genetics of acquired antibiotic resistance genes in *Proteus* spp. *Antimicrobials, Resistance and Chemotherapy*, 2020, available at: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2020.00256/full> (accessed 18 May 2024).

12. Anju M., Kuruvilla T. S. Characterization of genus *Proteus* isolated from various clinical specimens and detection of extended-spectrum β -lactamase production. *Chrismed Journal of Health and Research*. 2023. V. 10. N 1. P. 11–15.

13. Zhang W. W., Andong Z. Y., Zhang M., Wang Q. N., Wei Y. Q., Chen L. X. Isolation and characterization of a heterotrophic nitrifier *Proteus mirabilis* strain V7 and its potential application in $\text{NH}_4^{+}\text{-N}$ removal. *Annals of microbiology*. 2014. V. 64. P. 1231–1238.

14. Kolevatykh E. P., Pilip L. V., Syrchina N. V., Kozvonin V. A., Ashikhmina T. Ya. Transformatsiya mikrobioty otkhodov zhivotnovodstva pod vliyaniem khimicheskikh reagentov dlya ustraneniya zapakha [Transformation of the microbiota of animal husbandry waste under the influence of chemical reagents to eliminate odor]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2022, no. 4, pp. 159–165.

15. Pilip L. V., Syrchina N. V., Kolevatykh E. P., Rutman V. V. Vliyanie razlichnykh tipov poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na emissiyu gazov i mikrobiotu zhidkoy fraktsii navoznykh stokov [Influence of various types of surfactants on gas emissions and microbiota of the liquid fraction of manure effluents]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*, 2023, vol. 18, no. 3 (68), pp. 118–125.

16. Pilip L. V., Syrchina N. V. Vliyanie sinteticheskikh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na mikrobnyy sostav bioplenki navoznykh stokov [Influence of synthetic surfactants on the microbial composition of manure biofilm]. *Izvestiya KGTU*, 2024, no. 73, pp. 24–35.

17. Syrchina N. V., Pilip L. V., Kolevatykh E. P., Ashikhmina T. Ya., Kuznetsov D. A. Vliyanie gipokhlorita natriya na mikrobiotu i zapakh navoznykh stokov [The effect of sodium hypochlorite on the microbiota and odor of manure effluents]. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal*, 2023, no. 1, pp. 107–116.

18. Gorodova A. S., Tyumentseva V. S. Vyzhivaemost' Proteus i Klebsiella na ob"ektakh vneshney sredy [Survival of Proteus and Klebsiella on environmental objects]. *Nauchnyy elektronnyy zhurnal "Meridian"*, 2022, no. 1 (63), pp. 135–137, available at: <https://meridian-journal.ru/site/article0eb3/?ysclid=m0duh8q0i4443024858> (accessed 18 May 2024).

Информация об авторах

Л. В. Пилип – кандидат ветеринарных наук, доцент

Н. В. Сырчина – кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник

Information about the authors

L. V. Pilip – PhD in Veterinary, Associate Professor

N. V. Syrchina – PhD in Chemistry, Associate Professor, Senior Researcher

Статья поступила в редакцию 23.08.2024; одобрена после рецензирования 05.09.2024; принята к публикации 18.10.2024.

The article was submitted 23.08.2024; approved after reviewing 05.09.2024; accepted for publication 18.10.2024.