

Оригинальная статья

УДК 579.64:676.034.81

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-80-90>

## МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ УСКОРЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НАВОЗА

Н. В. Сырчина <sup>1✉</sup>, Л. В. Пилип <sup>2</sup>, Т. Я. Ашихмина <sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Вятский государственный университет

Россия, 610000, г. Киров, ул. Московская, д. 36

<sup>2</sup> Вятский государственный агротехнологический университет

Россия, 610017, г. Киров, Октябрьский просп., д. 133

<sup>3</sup> Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

Россия, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

Поступила в редакцию 16.01.2024 г., после доработки 23.05.2024 г., принята 25.05.2024 г., опубликована 31.03.2025 г.

**Аннотация.** В современных условиях ведения животноводства необходимы новые экологически безопасные технологии переработки и утилизации побочных продуктов животноводства (ППЖ): навоза и навозных стоков животноводческих комплексов. Одной из таких технологий является производство восстановленной подстилки (ВП) в биореакторных установках (БРУ) из навоза крупного рогатого скота, внедренное на одном из молочных комплексов Кировской области. Применяемая технология рециклинга позволила получить однородный продукт мягкой, рыхлой консистенции, высокой гигроскопичности, бурого цвета со слабым характерным земельным запахом. Обработка навоза в БРУ в течение 24 ч при температуре 69±4°C способствует существенному снижению влажности навозных стоков, повышению массовой доли органического вещества, зольности, pH, а также существенному снижению содержания общего числа микроорганизмов (МО) в 68,2 раза и видового разнообразия в 2,2 раза. Из состава микробиоты исчезли *Proteus*, *Fusobacterium*, *Prevotella*, *Pseudomonas*, *Peptococcus*, *Aspergillus*, *Klebsiella*, входящие в число возбудителей мастита. Численность условно-патогенных энтерококков сократилась с  $(8.0 \pm 0.5) \times 10^6$  до  $(5.0 \pm 0.5) \times 10^4$  КОЕ/мл. После обработки в БРУ бифидобактерии заняли доминирующее положение в составе микробиоты ВП (63% от общего числа выявленных МО), данный факт следует расценивать как достоинство соответствующей технологии и одно из преимуществ ВП. Однако высокую устойчивость при обработке навозных стоков в БРУ проявили условно-патогенные микроорганизмы родов *Clostridium*, *Bacteroides*, *Peptostreptococcus*, *Veillonella*, *Candida*. Согласно результатам химического анализа, содержание крупного рогатого скота на ВП привело к накоплению в подстилочном навозе азота, фосфора и калия, что обусловлено постепенной деградацией органических компонентов ВП в процессе рециклинга. Представленные результаты могут быть использованы для оптимизации параметров обработки навоза крупного рогатого скота с использованием БРУ для повышения качества ВП.

**Ключевые слова:** рециклинг навоза, микробиота, крупный рогатый скот, восстановленная подстилка, биореакторные установки, фильтрационно-сушильные установки

✉ Для корреспонденции. Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН и Вятского государственного университета.

ORCID и e-mail адреса: Сырчина Надежда Викторовна: <https://orcid.org/0000-0001-9695-7146>, [nvms1956@mail.ru](mailto:nvms1956@mail.ru); Пилип Лариса Валентиновна: <https://orcid.org/0000-0001-8049-6760>, [pilip\\_larisa@mail.ru](mailto:pilip_larisa@mail.ru); Ашихмина Тамара Яковлевна: <https://orcid.org/0000-0003-4919-0047>, [ecolab2@gmail.com](mailto:ecolab2@gmail.com).

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги» (государственная регистрация в ЕГИСУ № 122040100032-5).

*Соблюдение этических норм.* В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Микробиологическая безопасность технологии ускоренной переработки навоза // Поволжский экологический журнал. 2025. № 1. С. 80 – 90. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-80-90>

### ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация современного промышленного животноводства приводит к многочисленным экологическим проблемам, большинство которых обусловлено образованием побочных продуктов: навоза животных и помета птиц. Образующиеся на животноводческих предприятиях побочные продукты животноводства (ППЖ) чаще всего после обеззараживания вносят в пашню, расположенную в радиусе 10 – 15 км от мест содержания животных. Соответствующий подход не является оптимальным как в экологическом, так и в экономическом плане. Внесение высоких норм органических удобрений на ограниченных площадях приводит к химическому и биологическому загрязнению почвы и водных источников, а необходимость транспортирования навоза на значительные расстояния – к дополнительным экономическим затратам (Pilip et al., 2022; Syrchina et al., 2022). Практика показывает, что для устойчивого функционирования животноводческой отрасли необходима разработка новых инновационных подходов и технологий по переработке и утилизации ППЖ, а также совершенствование действующих технологий с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду. К числу таких технологий можно отнести переработку навоза крупного рогатого скота (КРС) в подстилку для животных. Ориентировочные расчеты показывают, что на каждую тонну коровьего молока образуется более трех тонн бесподстилочного навоза, рациональная утилизация которого представляет серьезную производственную, санитарно-эпидемиологическую и экологическую проблему. Благодаря рециклингу навоза его значительную долю удастся вернуть в хозяйственный оборот в качестве полезного продукта.

Технологии переработки навоза КРС в подстилку начали разрабатываться и впервые были апробированы еще в 70-х гг. XX в. в США (Leach, 2015). Несколько позднее соответствующий опыт был освоен в Европе, а в последние десятилетия и в РФ. Согласно Регламенту (ЕС) № 1069/2009 Европейского Парламента и Совета от 21 октября 2009 г., навоз домашнего скота относится к побочным продуктам животного происхождения 2-й категории. Использование навоза в качестве технического продукта (в том числе подстилки для животных) возможно только при соблюдении определенных условий, исключающих или минимизирующих риски для здоровья человека, животных и окружающей среды (Regulation..., 2009). Основными факторами риска, связанными с переработкой навоза в подстилку, явля-

ются неблагоприятные микробиологические характеристики соответствующего материала: наличие условно-патогенной, патогенной и антибиотико-резистентной микрофлоры, гельминтов и яиц гельминтов, семян сорных растений (Pilip et al., 2022, 2023a). К тому же навоз является источником запахового загрязнения атмосферного воздуха, оказывающего отрицательное воздействие на условия труда работников животноводческих предприятий и качество жизни населения на территориях вблизи животноводческих комплексов (Pilip, Syrchina, 2023; Pilip et al., 2023b; Syrchina et al., 2023). Оптимизировать микробиологические и органолептические характеристики подстилки из ППЖ позволяют современные технологии переработки навоза КРС на фильтрационно-сушильных (биореакторных) установках (БРУ).

Переработка ППЖ в подстилку на БРУ включает 2 основные стадии. Первая заключается в разделении навоза на твердую и жидкую фракции с помощью центрифуги, вторая – в обработке твердой фракции во вращающихся барабанах (биореакторах) при температуре 65 – 75°C в условиях активной аэрации. Время обработки обычно занимает от 15 до 24 ч и зависит от производительности установки и особенностей поступающего на переработку навоза. Готовый продукт – восстановленная подстилка (ВП) представляет собой однородную мягкую и рыхлую массу бурого цвета со слабым характерным запахом. Выделенная из ППЖ жидкая фракция перекачивается для обеззараживания в лагуны, а затем вносится в пашню в качестве органического удобрения. Следует отметить, что некоторые виды характерных для навоза микроорганизмов (МО) сохраняют свою жизнеспособность даже после обработки в БРУ (Pilip et al., 2023c), что может оказать существенное влияние на степень микробиологической безопасности ВП. Изучение соответствующих аспектов переработки ППЖ в подстилку представляет большой интерес для современного промышленного животноводства, поскольку высокая концентрация поголовья на ограниченных площадях сопряжена с повышенными рисками распространения инфекционных заболеваний.

Цель настоящей работы – изучить влияние аэробной обработки навоза КРС в фильтрационно-сушильной установке на состав микрофлоры и микробиологическую безопасность восстановленной подстилки.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований использовали пробы навоза КРС до и после обработки в фильтрационно-сушильной (биореакторной) установке BRU FAN 720 (BAUER GmbH, Австрия). Время обработки – 24 ч, температура в биореакторе –  $69 \pm 2^\circ\text{C}$ . Используемые в исследовании физико-химические методы анализа ВП приведены в табл. 1. Отбор проб для микробиологических исследований (5 проб навоза КРС до обработки в БРУ, 5 проб ВП после обработки в БРУ) производили в стерильные емкости с соблюдением правил асептики и антисептики, в течение 1 ч доставляли в микробиологическую лабораторию. Микробиологические исследования включали посев определенного объема из серии десятикратных разведений суспензии исследуемых МО на плотную питательную среду, инкубацию и подсчет образовавшихся колоний. Общее количество МО (концентрацию микробных кле-

ток) определяли методом посева на питательные среды в соответствии с ОФС.1.7.2.0008.15 «Определение концентрации микробных клеток» (приказ МЗ РФ от 31.10.2018 №749). Для определения количества клеток анаэробных МО чашки Петри после посева помещали в анаэростат. Для создания анаэробноз применяли микроанаэростат (OXOID, Великобритания) и газогенерирующие пакеты (ООО «Новые технологии», Россия).

Микробиологические исследования выполняли в трехкратной повторности. Статистическую обработку полученных результатов выполняли стандартными методами с использованием встроенного пакета программ Microsoft Excel (Microsoft Corp., USA). Статистическую значимость различий средних величин оценивали по *t*-критерию Стьюдента (использовали гетероскедастический двусторонний тест ТТЕСТ из статистического пакета Microsoft Excel).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате выполненных исследований установлено, что свойства навоза КРС при обработке на БРУ существенно изменяются. В табл. 1 приведены основные характеристики отобранных образцов навоза КРС до и после обработки в фильтрационно-сушильной установке.

**Таблица 1.** Свойства отобранных образцов навоза КРС до и после обработки в фильтрационно-сушильной установке

**Table 1.** Properties of the selected cattle manure samples before and after processing in a bioreactor installation

| Показатель / Indicator                                                              | Значение показателя (на естественную влажность) / Indicator value (for natural moisture content) |                                   | Метод анализа / Method of analysis                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                     | до обработки / before treatment                                                                  | после обработки / after treatment |                                                                                                                                                                                                                      |
| Влажность, % / Moisture content, %                                                  | 79.6±3.2                                                                                         | 68.5±3.4                          | Гравиметрический: высушивание навески при температуре 105 – 110°C до постоянной массы / Gravimetric: sample drying at 105–110°C to constant weight                                                                   |
| Активная кислотность, ед. pH / Active acidity, pH units                             | 8.2±0.3                                                                                          | 7.5±0.3                           | Потенциометрический: измерение pH в водной суспензии ВП, приготовленной согласно ГОСТ 11623-89 / Potentiometric: pH measurement in an aqueous suspension of reconstituted litter prepared according to GOST 11623-89 |
| Органическое вещество, % / Organic matter, %                                        | 18.2±3.6                                                                                         | 26.7±3.2                          | Термогравиметрический по ГОСТ 27980 / Thermogravimetric, according to GOST 27980                                                                                                                                     |
| Зольность, % / Ash content, %                                                       | 2.24±1.6                                                                                         | 4.8±1.4                           | Термогравиметрический по ГОСТ 26714-85 / Thermogravimetric, according to GOST 26714-85                                                                                                                               |
| N (общий), % / N (total), %                                                         | 0.8±0.3                                                                                          | 1.2±0.3                           | Метод Кьельдаля по ГОСТ 26715 / Kjeldahl's method, according to GOST 26715                                                                                                                                           |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (общий), % / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (total), % | 0.48±0.12                                                                                        | 0.69±0.14                         | Фотометрический по ГОСТ 26717 / Photometric, according to GOST 26717                                                                                                                                                 |
| K <sub>2</sub> O (общий), % / K <sub>2</sub> O (total), %                           | 1.2±0.4                                                                                          | 1.5±0.4                           | Пламенная фотометрия по ГОСТ 26718 / Flame photometry, according to GOST 26718                                                                                                                                       |

Согласно полученным результатам, обработка навоза в БРУ способствовала существенному снижению влажности, повышению массовой доли органического вещества, зольности и снижению значений pH. Снижение pH может быть обусловлено разложением солей аммония и удалением  $\text{NH}_3$  из навоза в процессе нагревания и аэрации.

Содержание КРС на исследуемой подстилке привело к накоплению в навозе азота, фосфора и калия (табл. 2), что обусловлено постепенной деградацией органических компонентов ВП в процессе рециклинга.

**Таблица 2.** Содержание общего азота, фосфора и калия в экскрементах КРС и в смеси экскрементов и восстановленной подстилки

**Table 2.** Total content of nitrogen, phosphorus and potassium in cow excrements and in a mixture of excrement and reconstituted litter

| Показатель / Indicator                                                | Среднее содержание, % (на сухое вещество) /<br>Average content, % (dry matter) |                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                       | Экскременты КРС (РД-АПК, 2017) /<br>Cow excrements (RD-APC, 2017)              | Смесь экскрементов КРС<br>и восстановленной подстилки /<br>A mixture of cow excrements<br>and reconstituted bedding |
| N (общий), % / N (total), %                                           | 3.2                                                                            | 4.0                                                                                                                 |
| $\text{P}_2\text{O}_5$ (общий), % / $\text{P}_2\text{O}_5$ (total), % | 1.8                                                                            | 2.4                                                                                                                 |
| $\text{K}_2\text{O}$ (общий), % / $\text{K}_2\text{O}$ (total), %     | 5.0                                                                            | 6.0                                                                                                                 |

В табл. 3 приведены данные о составе микробиоты навоза КРС до и после обработки в фильтрационно-сушильной установке.

**Таблица 3.** Состав микробиоты навоза КРС до и после обработки на фильтрационно-сушильной установке

**Table 3.** Microbiota composition in cattle manure before and after processing in a bioreactor installation

| Микроорганизмы /<br>Microorganisms              | Количество микроорганизмов, КОЕ/мл /<br>Numbers of microorganisms, CFU/mL                         |                                                                                                     |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                 | Навоз КРС до обработки в БРУ /<br>Cattle manure before processing in<br>a bioreactor installation | Навоз КРС после обработки в БРУ /<br>Cattle manure after processing in<br>a bioreactor installation |
| 1                                               | 2                                                                                                 | 3                                                                                                   |
| Факультативные анаэробы / Facultative anaerobes |                                                                                                   |                                                                                                     |
| <i>Escherichia coli</i>                         | $(6.0 \pm 0.3) \times 10^6$                                                                       | $(5.0 \pm 0.7) \times 10^4$                                                                         |
| <i>Enterococcus</i> sp.                         | $(8.0 \pm 0.5) \times 10^6$                                                                       | $(5.0 \pm 0.5) \times 10^4$                                                                         |
| <i>Lactobacillus</i> spp.                       | $(5.0 \pm 0.4) \times 10^5$                                                                       | $(6.0 \pm 0.8) \times 10^4$                                                                         |
| <i>Veillonella parvula</i>                      | $(7.0 \pm 0.5) \times 10^4$                                                                       | $(4.0 \pm 0.4) \times 10^4$                                                                         |
| <i>Capnocytophaga ochracea</i>                  | $(7.0 \pm 0.4) \times 10^4$                                                                       | Не обнаружены / Undetected                                                                          |
| <i>Klebsiella</i> sp.                           | $(6.0 \pm 0.5) \times 10^4$                                                                       | Не обнаружены / Undetected                                                                          |
| <i>Proteus</i> spp.                             | $(5.0 \pm 0.3) \times 10^4$                                                                       | Не обнаружены / Undetected                                                                          |
| <i>Staphylococcus aureus</i>                    | $(3.0 \pm 0.8) \times 10^4$                                                                       | Не обнаружены / Undetected                                                                          |
| <i>Staphylococcus epidermidis</i>               | $(5.0 \pm 0.8) \times 10^2$                                                                       | Не обнаружены / Undetected                                                                          |
| Облигатные анаэробы / Obligate anaerobes        |                                                                                                   |                                                                                                     |
| <i>Bifidobacterium</i> spp.                     | $(6.0 \pm 0.5) \times 10^7$                                                                       | $(7.0 \pm 0.8) \times 10^5$                                                                         |
| <i>Clostridium</i> spp.                         | $(7.0 \pm 0.4) \times 10^5$                                                                       | $(6.0 \pm 0.8) \times 10^4$                                                                         |

Окончание табл. 3  
Table 3. Continuation

| 1                                                            | 2                           | 3                                             |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|
| <i>Peptoniphilus</i> sp.                                     | $(7.0 \pm 0.3) \times 10^4$ | <b><math>(4.0 \pm 0.4) \times 10^3</math></b> |
| <i>Anaerococcus prevotii</i>                                 | $(6.0 \pm 0.5) \times 10^4$ | <b><math>(7.0 \pm 0.6) \times 10^3</math></b> |
| <i>Bacteroides</i> sp.                                       | $(7.0 \pm 0.7) \times 10^4$ | $(6.0 \pm 0.9) \times 10^4$                   |
| <i>Peptostreptococcus</i> sp.                                | $(4.0 \pm 0.5) \times 10^4$ | $(4.0 \pm 0.3) \times 10^4$                   |
| <i>Peptococcus</i> sp.                                       | $(6.0 \pm 0.4) \times 10^4$ | Не обнаружены / Undetected                    |
| <i>Sarcina ventriculi</i>                                    | $(6.0 \pm 0.6) \times 10^4$ | Не обнаружены / Undetected                    |
| <i>Fusobacterium</i> sp.                                     | $(4.0 \pm 0.9) \times 10^4$ | Не обнаружены / Undetected                    |
| <i>Prevotella</i> sp.                                        | $(7.0 \pm 0.4) \times 10^3$ | Не обнаружены / Undetected                    |
| <i>Acidaminococcus fermentans</i>                            | $(5.0 \pm 0.6) \times 10^3$ | Не обнаружены / Undetected                    |
| <i>Alistipes putredinis</i>                                  | $(5.0 \pm 0.5) \times 10^2$ | Не обнаружены / Undetected                    |
| Аэробы / Aerobes                                             |                             |                                               |
| <i>Pseudomonas</i> spp.                                      | $(7.0 \pm 0.7) \times 10^3$ | Не обнаружены / Undetected                    |
| Грибы / Mushrooms                                            |                             |                                               |
| <i>Candida</i> sp.                                           | $(7.0 \pm 0.5) \times 10^4$ | <b><math>(6.0 \pm 0.3) \times 10^3</math></b> |
| <i>Aspergillus</i> spp.                                      | $(6.0 \pm 1.1) \times 10^3$ | Не обнаружены / Undetected                    |
| Общее число микроорганизмов / Total number of microorganisms | $7.5 \times 10^7$           | $1.1 \times 10^6$                             |

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения варианта эксперимента 2, достоверно ( $P > 0.95$ ) отличающиеся от варианта 1.

Note. Values of experiment 2 differing significantly ( $P > 0.95$ ) from experiment 1 are marked in bold.

В результате микробиологических исследований установлено, что состав микробиоты подстильного навоза КРС (восстановленная подстилка – обработанный в БРУ навоз КРС) в основном определяется МО, характерными для желудочно-кишечного тракта, ротовой полости и кожных покровов животных. Источниками плесневых грибов *Aspergillus* spp. могут быть корма, почва или вода. Содержание выявленных МО в навозе на ВП не превышает характерные для навоза КРС показатели (Mushina, Telyatnikova, 2016; Munshi et al., 2018).

Обработка навоза в БРУ привела к сокращению численности и видового разнообразия населяющих соответствующий субстрат МО. Из состава микробиоты исчезли МО, входящие в число возбудителей мастита: *Proteus*, *Fusobacterium*, *Prevotella*, *Pseudomonas*, *Peptococcus*, *Aspergillus*, *Klebsiella* (Laptev et al., 2017), а также условно-патогенные *Staphylococcus aureus* и *Staphylococcus epidermidis*. Устранение из ВП бактерий рода *Klebsiella* и снижение количества *S. aureus* имеет большое санитарное и гигиеническое значение, поскольку соответствующие МО проявляют множественную резистентность к существующим антибактериальным препаратам. Кроме того, клебсиеллы относятся к основным возбудителям внутрибольничных инфекций (Lartseva, Obukhova, 2020), а для *S. aureus* характерно наличие различных факторов вирулентности, которые могут привести к опасным инфекционным заболеваниям человека и животных (Saceres et al., 2001).

Высокую устойчивость к обработке навоза в БРУ проявили условно-патогенные *Clostridium*, *Bacteroides*, *Peptostreptococcus*, *Veillonella parvula*, *Candida*.

Бактерии рода *Bacteroides* и грибы рода *Candida* входят в число возбудителей мастита (Laptev et al., 2017). Патогенные виды клостридий вызывают широкий спектр заболеваний, включая столбняк (*C. tetani*), ботулизм (*C. botulinum*), клостридиальный некротизирующий энтерит (*C. perfringens* типа C), нейтروпенический энтероколит (*C. septicum*) и др. Основными факторами вирулентности клостридий служат вырабатываемые ими токсины, некоторые из них могут привести к летальному исходу (Shilnikova et al., 2016). *Peptostreptococcus* и *Veillonella parvula* входят в число клинически значимых анаэробных кокков, играющих существенную роль в развитии острых кишечных инфекций (Sukhina, Savelev, 2005). Наличие устойчивых к обработке в БРУ условно-патогенных МО снижает гигиенические характеристики ВП.

Сохраняющиеся при обработке в БРУ бактероиды, протей, клостридии, эшерихии по типу потребляемого субстрата относят к протеолитической микробиоте, в процессе жизнедеятельности которой выделяются разнообразные вещества с крайне неприятными запахами (индол, скатол, фенолы, меркаптаны, амины и др.). Фузобактерии продуцируют масляную (основной метаболит) и уксусную кислоты (дополнительный метаболит). Наличие соответствующих МО в ВП способствует эмиссии дурнопахнущих веществ, что снижает качество воздуха в помещениях для содержания животных и приводит к запаховому загрязнению территорий в районах размещения животноводческих комплексов (Kolevatykh et al., 2022).

Относительную устойчивость к обработке в БРУ проявили условно-патогенные энтерококки. Благодаря высокой пластичности генома, соответствующие МО входят в число активных переносчиков генов антибиотикорезистентности. Энтерококки проявляют выраженную протеолитическую и пептидолитическую активность. Попадая в молочные продукты, эти МО могут оказать негативное влияние на формирование вкуса (Gagnon et al., 2020).

Численность полезных лактобактерий и бифидобактерий при обработке навоза в БРУ снижается незначительно, что следует расценивать как достоинство соответствующего способа обработки ППЖ и одно из преимуществ ВП. После обработки в БРУ бифидобактерии заняли доминирующее положение в составе микробиоты ВП (63% от общего числа выявленных МО). Непатогенные лактобактерии и бифидобактерии относятся к типичным представителям нормальной микробиоты желудочно-кишечного тракта человека и животных. В процессе жизнедеятельности этих МО во внешнюю среду выделяются молочная и некоторые другие органические кислоты, а также антибиотики и бактериоцины, оказывающие угнетающее воздействие на развитие гнилостной, патогенной и газообразующей микробиоты (Astashkina, 2010; Zotova, Trifonova, 2016), что улучшает санитарные и гигиенические характеристики подстилки. В настоящее время биопрепараты, содержащие лактобактерии, находят применение для обработки подстилочных материалов с целью повышения их эксплуатационных характеристик (Lyashenko et al., 2021).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производство восстановленной подстилки из навоза крупного рогатого скота является перспективной и экологически безопасной технологией переработки и утилизации побочных продуктов животноводства в условиях крупных молочных

животноводческих комплексов. Рециклинг навоза позволяет снизить химическое и микробиологическое загрязнение окружающей среды, а также улучшить экологическое состояние прилегающих к животноводческим комплексам территорий.

Результаты выполненных исследований показали, что аэробная обработка навоза крупного рогатого скота в фильтрационно-сушильных установках приводит к сокращению численности (почти в 70 раз) и видового разнообразия (в 2 раза) населяющих навоз МО. Из состава микробиоты исчезли условно-патогенные *Proteus*, *Fusobacterium*, *Prevotella*, *Pseudomonas*, *Peptococcus*, *Aspergillus*, *Klebsiella*, *Staphylococcus aureus* и *Staphylococcus epidermidis*.

Высокую устойчивость к обработке в БРУ проявили *Clostridium*, *Bacteroides*, *Peptostreptococcus*, *Veillonella parvula*, *Candida*. Количество соответствующих МО в ВП по сравнению с нативным навозом не изменилось или изменилось незначительно. Численность *Escherichia coli* и *Enterococcus* sp. после обработки сократилась на 2 порядка. Для подавления соответствующей микробиоты требуются более жесткие режимы, такие как увеличение температуры и/или продолжительности обработки.

Доминирующее положение в составе микробиоты навоза крупного рогатого скота до обработки и после обработки в БРУ занимали непатогенные бифидобактерии, однако их доля в общем числе МО после обработки навоза сократилась с 80 до 63%. Доля непатогенных лактобактерий после обработки увеличилась до 5% (в нативном навозе доля лактобактерий составляла лишь 0.7%).

Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации параметров обработки навоза крупного рогатого скота на фильтрационно-сушильных установках с целью повышения качества восстановленной подстилки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Astashkina A. P. Up to day review the biological feature of bifidobacterium and lactobacillus. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2010, no. 1, pp. 133–139 (in Russian).
- Sacares M., Nord C. E., Weintraub A. Ecological aspects of antimicrobial susceptibility of anaerobic bacteria. *Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy*, 2001, vol. 3, no. 1, pp. 39–47 (in Russian).
- Gagnon M., Hamelin L., Fréchette A., Dufour S., Roy D. Effect of recycled manure solids as bedding on bulk tank milk and implications for cheese microbiological quality. *Journal of Dairy Science*, 2020, vol. 103, no. 1, pp. 128–140.
- Kolevatykh E. P., Pilip L. V., Syrchina N. V., Kozvonin V. A., Ashikhmina T. Ya. Transformation of the microbiota of animal husbandry waste under the influence of chemical reagents to eliminate odor. *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 4, pp. 159–165 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-4-159-165>
- Laptev G. Yu., Novikova N. I., Ilina L. A., Yildirim E. A., Soldatova V. V., Nikonov I. N. Molecular-genetic investigation of microorganisms corresponding mastitis in cattle. *Actual Issues in Agricultural Biology*, 2017, no. 4, pp. 30–34 (in Russian).
- Lartseva L. V., Obukhova O. V. Comparative assessment of the sanitary and hygienic significance of *Klebsiella* isolated from clinical material and hydroecosystems. Literature review. *Astrakhan Bulletin for Environmental Education*, 2020, no. 2(56), pp. 143–154 (in Russian). <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2020-19-2-143-154>

Leach K. A., Archer S. C., Breen J. E., Green M. J., Ohnstad I. C., Tuer S., Bradley A. J. Recycling manure as cow bedding: Potential benefits and risks for UK dairy farms. *The Veterinary Journal*, 2015, vol. 206, iss. 2, pp. 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.08.013>

Lyashenko V. V., Kaeshova I. V., Vorobeva A. A. The effect of bio-litter on the productive qualities of cows. *Surskiy Vestnik*, 2021, no. 3(15), pp. 43–48 (in Russian). [https://doi.org/10.36461/2619-1202\\_2021\\_03\\_007](https://doi.org/10.36461/2619-1202_2021_03_007)

Munshi S. K., Roy J., Noor R. Microbiological investigation and determination of the antimicrobial potential of cow dung samples. *Stamford Journal of Microbiology*, 2018, vol. 8, iss. 1, pp. 34–37. <https://doi.org/10.3329/sjm.v8i1.42437>

Mushina M. V., Telyatnikova N. V. Microflora of manure. *Youth and Science*, 2016, no. 8, pp. 8 (in Russian).

Pilip L. V., Syrchina N. V. The importance of microorganisms-ammonifiers of manure effluents in the emission of ammonia. *KSTU News*, 2023, no. 68, pp. 46–54 (in Russian). <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-68-46-54>

Pilip L. V., Syrchina N. V., Kozvonin V. A., Kolevatykh E. P., Ashikhmina T. Ya., Sazanov A. V. Biological contamination of arable land with pig waste. *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 3, pp. 199–205 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-199-205>

Pilip L. V., Syrchina N. V., Ashikhmina T. Ya., Kolevatykh E. P. Coliform bacteria as components in biofilm of manure effluents. *South of Russia: Ecology, Development*, 2023a, vol. 18, no. 3(68), pp. 118–125 (in Russian). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2023-3-118-125>

Pilip L. V., Syrchina N. V., Kolevatykh E. P., Rutman V. V. Influence of various types of surfactants on gas emissions and microbiota of the liquid fraction of manure effluents. *Theoretical and Applied Ecology*, 2023b, no. 3, pp. 59–72 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-3-059-072>

Pilip L. V., Syrchina N. V., Kolevatykh E. P. Safety assessment of regenerated litter obtained at the filtration and drying plant. *Russian Journal of Applied Ecology*, 2023c, no. 1(33), pp. 45–51 (in Russian). <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2023.1.45.51>

RD-APK 1.10.15.02-17. *Methodological Recommendations for Technological Design Methodological Recommendations for Technological Design of Systems for Removal and Preparation for Use of Manure and Litter*. Moscow, Rosinformagrotech, 2017. 172 p. (in Russian).

Regulation (EC) no 1069/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009. Available at: <https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/fsvps-docs/ru/usefulinf/files/es1069-2009.pdf> (accessed December 5, 2023).

Shilnikova I. I., Dyakova S. A., Kulaga E. V., Sokolova E. N., Tereshchenko I. V., Dmitrieva N. V. The identification and sensitivity to antibiotics of *Clostridia*, including *Clostridia difficile* isolated under infectious complications in oncologic patients. *Clinical Laboratory Diagnostics*, 2016, vol. 61, no. 7, pp. 439–444 (in Russian).

Sukhina M. A., Savelev V. N. Epidemiology and pathogenicity of clinically significant anaerobes. *Epidemiology and Vaccinal Prevention*, 2005, no. 1, pp. 41–44 (in Russian).

Syrchina N. V., Pilip L. V., Ashikhmina T. Ya. Chemical land degradation under the influence of animal husbandry waste. *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 3, pp. 219–225 (in Russian). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-219-225>

Syrchina N. V., Pilip L. V., Kolevatykh E. P., Ashikhmina T. Ya. Effect of various processing methods on the numbers of *Clostridium* (Clostridia, Bacteria) in animal by-products. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2023, no. 4, pp. 466–480 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-4-466-480>

Zotova E. P., Trifonova T. I. The effect of exometabolites of lacto- and bifidobacteria on the human body. *Academic Journal of West Siberia*, 2016, vol. 12, no. 5, pp. 52–54 (in Russian).

## Microbiological safety of the accelerated manure processing technology

N. V. Syrchina <sup>1✉</sup>, L. V. Pilip <sup>2</sup>, T. Ya. Ashikhmina <sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Vyatka State University

36 Moskovskaya St., Kirov 610000, Russia

<sup>2</sup> Vyatka State Agrotechnological University

133 Oktyabrsky Pros., Kirov 610017, Russia

<sup>3</sup> Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of RAS

28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Republic of Komi 167982, Russia

Received: January 16, 2024 / revised: May 23, 2024 / accepted: May 25, 2024 / published: March 31, 2025

**Abstract.** Modern animal husbandry requires new environmentally friendly technologies for the processing and disposal of its by-products (BPAH), namely: manure and manure effluents from livestock complexes. One of these technologies is the production of reconstituted litter (RL) in Bedding Recovery Units (BRU) from cattle manure, introduced at one of the dairy complexes in the Kirov region. The recycling technology used made it possible to obtain a homogeneous product of a soft, loose consistency, high hygroscopicity, brown color with a weak characteristic earthy odor. Manure processing in BRU for 24 h at a temperature within  $69 \pm 4^\circ\text{C}$  contributes to a significant decrease in the humidity of manure effluents, an increase in the mass fraction of organic matter, ash content, pH, as well as a significant decrease of the total number of microorganisms (MO) (by 68.2 times) and species diversity (by 2.2 times). *Proteus*, *Fusobacterium*, *Prevotella*, *Pseudomonas*, *Peptococcus*, *Aspergillus*, and *Klebsiella*, which are among the causative agents of mastitis, have disappeared from the microbiota. The numbers of opportunistic Enterococci decreased from  $(8.0 \pm 0.5) \times 10^6$  down to  $(5.0 \pm 0.5) \times 10^4$  CFU/ml. After processing in BRU, Bifidobacteria took a dominant position in the composition of microbiota in RL (63% of the total number of identified MO). This fact should be regarded as an advantage of the used technology and one of the advantages of the RL. However, conditionally pathogenic microorganisms of the genera *Clostridium*, *Bacteroides*, *Peptostreptococcus*, *Veillonella*, and *Candida* showed high resistance to manure effluent processing in BRU. According to the chemical analysis results, the content of cattle on RL led to the accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium in litter manure, which is due to the gradual degradation of organic components of RL during recycling. The presented results can be used to optimize the parameters of processing cattle manure using BRU to improve the quality of RL.

**Keywords:** manure recycling, microbiota, cattle, reconstituted litter, Bedding Recovery Unit, filtration and drying plants

**Funding:** The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences on the theme “Structure and Condition of Components of Anthropogenic Ecosystems of the Southern Taiga Subzone” (state registration in EGISU No. 122040100032-5).

✉ Corresponding author. Biomonitoring Laboratory of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences and Vyatka State University, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Nadezhda V. Syrchina: <https://orcid.org/0000-0001-9695-7146>, [nvms1956@mail.ru](mailto:nvms1956@mail.ru); Larisa V. Pilip: <https://orcid.org/0000-0001-8049-6760>, [pilip\\_larisa@mail.ru](mailto:pilip_larisa@mail.ru); Tamara Ya. Ashikhmina: <https://orcid.org/0000-0003-4919-0047>, [ecolab2@gmail.com](mailto:ecolab2@gmail.com).

Н. В. Сырчина, Л. В. Пилип, Т. Я. Ашихмина

*Ethics approval and consent to participate:* This work does not contain any studies involving human and animal subjects.

*Competing interests:* The authors have declared that no competing interests exist.

**For citation:** Syrchina N. V., Pilip L. V., Ashikhmina T. Ya. Microbiological safety of the accelerated manure processing technology. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2025, no. 1, pp. 80–90 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2025-1-80-90>