

## СНИЖЕНИЕ МИКРОБНОЙ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НАВОЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В РЕЗУЛЬТАТЕ БИОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ В КОМПОСТЕРАХ «ЭКО»

Роман Михайлович Хоменко<sup>1✉</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Российская Федерация  
<sup>1</sup> канд. ветеринар. наук, доц., roman.khomenko@gmail.com, orcid/0000-0002-9817-1400

### РЕФЕРАТ

Целью настоящего исследования было определение снижения микробной загрязненности побочного продукта животноводства – коровьего навоза после переработки в биокомпостерах «ЭКО». Переработка навоза в программируемых электронных аппаратах «ЭКО», производства компании ВКО «Алмаз-Антей», которые работают от электрической сети с напряжением 380В, является современной, экологически чистой и экономически выгодной технологией. Органические отходы агропромышленного комплекса (растениеводства, животноводства, рыбоводства) являются биологической угрозой, способствуя размножению патогенных микроорганизмов и распространению зоонозных инфекций. Бактерии вроде *Salmonella spp.*, *E.coli*, *Listeria monocytogenes* могут загрязнять почву, воду и урожай [3;4]. Биоотходы также привлекают синантропных животных — переносчиков инфекций. Эффективным решением является аэробное биокомпостирование с участием термофильных микроорганизмов при 50–85°C. Технология обеспечивает многоступенчатую деградацию органического субстрата, в результате которой образуется биосмесь, пригодная для применения в качестве удобрения или кормовой добавки, с объемом, составляющим 10% от исходного. Параллельно происходит обеззараживание материала с деактивацией патогенной микрофлоры, включая антибиотико-резистентные штаммы.

Статья посвящена изучению санитарной эффективности биотермической переработки побочного продукта скотоводства – коровьего навоза с использованием биокомпостеров «ЭКО». В основе метода лежит комбинированное применение микробиологических процессов и температурного воздействия, что обеспечивает аэробное разложение органики термофильными микроорганизмами при 50–85°C. За 24 часа объем отходов сокращается на 90%, а на выходе образуется биосмесь с высоким содержанием питательных веществ, пригодная для использования в качестве органического удобрения или кормовой добавки.

Исследование показывает высокую эффективность биокомпостирования, как метода, обеспечивающего полную элиминацию патогенной микрофлоры: бактерий группы кишечной палочки (БГКП), *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterococcus spp.* Технология основана на термофильной аэробной ферментации (50–85°C), в ходе которой образуется биосмесь, которая пригодна для использования в качестве органического удобрения или кормовой добавки. Бактериологический анализ подтвердил снижение общего микробного числа с 15 850 000 до 28 500 КОЕ/г и полное устранение целевых патогенов.

**Ключевые слова:** навоз, биотермическая обработка, микробная загрязненность, компостеры.

**Для цитирования:** Хоменко Р.М. Снижение микробной загрязненности навоза крупного рогатого скота в результате биотермической переработки в компостерах «ЭКО» // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. 2025. №2. с 107-111. <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2025.2.107>

## REDUCING MICROBIAL CONTAMINATION OF CATTLE MANURE AS A RESULT OF BIOTHERMIC PROCESSING IN «ECO» COMPOSTERS

Roman M. Khomenko<sup>1✉</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Russian Federation.

<sup>1</sup> Cand. of Veterinary Sciences, Docent., roman.khomenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9817-1400

### ABSTRACT

The aim of this study was to determine the reduction of microbial contamination of a by-product of animal husbandry – cow manure after processing in ECO biocomposters. Processing of manure in programmable electronic devices ECO, manufactured by VKO Almaz-Antey, which operate from a 380V electrical network, is a modern, environmentally friendly and cost-effective technology. Organic waste of the agro-industrial complex (crop growing, livestock farming, fish farming) is a biological threat, contributing to the reproduction of pathogenic microorganisms and the spread of zoonotic infections. Bacteria such as *Salmonella spp.*, *E.coli*, *Listeria monocytogenes* can contaminate soil, water and crops. Biowaste also attracts synanthropic animals – carriers of infections. An effective solution is aerobic biocomposting with the participation of thermophilic microorganisms at 50–85°C. The technology ensures multi-stage degradation of the organic substrate, resulting in the formation of a bio-mixture suitable for use as a fertilizer or feed additive, with a volume of 10% of the original. In parallel, the material is disinfected with the deactivation of pathogenic microflora, including antibiotic-resistant strains.

The article is devoted to the study of the sanitary efficiency of biothermal processing of a by-product of cattle breeding - cow manure using ECO biocomposters. The method is based on the combined use of microbiological processes and temperature exposure, which ensures aerobic decomposition of organic matter by ther-

mophilic microorganisms at 50–85 °C. In 24 hours, the volume of waste is reduced by 90%, and the output is a bio-mixture with a high content of nutrients, suitable for use as an organic fertilizer or feed additive. The study demonstrates the high efficiency of biocomposting as a method that ensures complete elimination of pathogenic microflora: coliform bacteria, *Pseudomonas aeruginosa* and *Enterococcus spp.* The technology is based on thermophilic aerobic fermentation (50–85°C), which produces a bio-mixture that is suitable for use as an organic fertilizer or feed additive. Bacteriological analysis confirmed a decrease in the total microbial count from 15,850,000 to 28,500 CFU/g and complete elimination of target pathogens.

**Key words:** manure, biothermal treatment, microbial contamination, composters.

**For citation:** Khomenko R.M. Reduction of microbial contamination of cattle manure as a result of biothermal processing in ECO composters. Legal regulation in veterinary medicine. 2025;2: 107-111. (In Russ.)<https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2025.2.107>

## ВВЕДЕНИЕ

Навоз крупного рогатого скота, свиней и птицы является важным источником органического удобрения, но одновременно содержит широкий спектр патогенных микроорганизмов, яиц и личинок гельминтов, устойчивых спор, антибиотиков и гормонов. При прямом внесении навоза на поля возможна контаминация кормов и воды *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter spp.*, *Clostridium spp.*, вирусов (РНК-вирусы свиней, ротавирусы), протозойных ооцист (*Cryptosporidium*, *Eimeria*) и яиц нематод (*Ascaris*, *Trichuris*). Биокомпостирование рассматривается как экологически и экономически обоснованный способ одновременной утилизации и санитарной стабилизации навоза[8;9;10].

Главными факторами инактивации патогенов при компостировании являются: тепловой – термофильная фаза (55–70 °C) вызывает денатурацию белков, повреждение оболочек вирусов и гибель яиц гельминтов, биохимический – высокое содержание свободного аммиака (NH<sub>3</sub>) при pH > 8,5 оказывает щелочной лизирующий эффект, микробный антагонизм – конкуренция за субстрат, продукция бактериоцинов, органических кислот, пероксида водорода, десикация и окислительный стресс – высушивание и образование реактивных форм кислорода при активной аэрации[7;9].

В настоящее время используются различные технологические схемы хранения и обеззараживания навоза: открытые бурты-валки – длиной 30–100 м, высотой 1,5–2,0 м., с механическим ворошением 1–3 раза в неделю; статические аэрируемые кучи в перфорированной трубе с использованием электровентилятора без ворошения; закрытые барабаны и туннели с автоматическим поддержанием  $t \geq 55^\circ\text{C}$  в течение 72 часов с последующим созреванием в течение 2–4 недель; совместное компостирование с добавлением подсушивающих и углерод-содержащих материалов: соломы, опилок, торфа, биоугля, птичьих перьев, пищевых отходов и т.д.[1;2;3]

Нормативные требования по безопасности при переработке побочного продукта животноводства навоза в России регулируется положениями СанПиН 2.4.2.2845-11, СП 3.2.3218-14 – отсутствие *Salmonella spp.* в 25 г, <10<sup>2</sup> КОЕ/г БГКП; гибель яиц гельминтов (>95 %). [3;4]

Кинетика инактивации основных патогенов по литературным данным следующая:

Бактерии: *Salmonella* – 4–6 log<sub>10</sub> снижение за 3 суток при t= 55 °C., *E. coli* O157:H7 – полная ги-

бель ≤ 2 суток при t= 60 °C.

Вирусы: свиной ротавирус – 5 log<sub>10</sub> за 6 часов при t=65 °C.

Протозои: ооцисты *Cryptosporidium* – 99 % инаktivация за 3 суток при t=60 °C (чувствительны к аммиаку).

Гельминты: яйца *Ascaris suum* – D55 °C ≈ 30–40 минут при t= 50 °C в течение 3–7 суток.

Ключевыми технологическими факторами являются следующие показатели: соотношение C: N – оптимум 25–30:1; при избытке азота pH поднимается и усиливается NH<sub>3</sub>-ингибирование патогенов, влажность – 55–65 %, сухой компост замедляет термогенез, слишком влажный (<0,15 м<sup>3</sup> водяных паров воздуха/кг навоза) создаёт анаэробноз, размер частиц – 0,5–5 см для оптимального газового и теплового обмена, наличие кислорода – ≥ 10 % O<sub>2</sub> в пару воздуха, скорость аэрации 0,3–0,8 л/ мин/ кг органического вещества, частота переворота частиц навоза – каждые 3–7 суток на ранней фазе, далее реже.[5;6]

Способы усиления санации навоза постоянно дополняются новыми способами. Введение биоугля (5–10 %) способствует абсорбции влаги и антибиотиков, катализу нитрификации. Щелочная обработка известью (pH >9,5) до закладки бурта способствует агрессивной инаktivации кокцидий и аскарид. Использование лигноцеллюлолитических грибов (*Pleurotus ostreatus*, *Trichoderma spp.*) ускоряет разложение, но требует контроля температуры (не выше 45 °C). Применение эфирных масел (тимола, эвкалиптола), органических кислот (пропионат), ионов Cu<sup>2+</sup>/Zn<sup>2+</sup> демонстрирует синергизм с теплом против *Salmonella* и *Campylobacter*. Сочетание высокотемпературного компостирования и последующей вермификации позволяет значительно сократить популяции колиформов.[5;6;7]

Любые из перечисленных способов имеют конечно и свои недостатки. При валковом методе часто происходит неравномерный прогрев навозной массы могут возникать так называемые «холодные карманы» поэтому необходим постоянный температурный контроль. Наблюдается повторная микробная контаминация при хранении и транспортировке зрелого компоста. Возникает сохранение генов устойчивости к антибиотикам, с целью недопущения таких ситуаций необходимо оптимизировать продолжительность созревания (> 60 дней). Вредные для окружающей среды выбросы азотсодержащих газообразных соединений таких как NH<sub>3</sub> и N<sub>2</sub>O, решение

этой проблемы возможно с помощью устройства покрышек-биофильтров, добавки бентонита.[1;2;9]

В настоящее время ведется сразу несколько инновационных направлений исследований в области улучшения и контроля переработки навоза: мультимодальные методы (термофильное компостирование с последующим анаэробным озонированием фильтра). Применение инкапсулированных энзимов (лизозим, протеазы) в качестве селективных лизинг патогенов. IoT-мониторинг температуры и газов с алгоритмами предиктивного управления вентиляторами. Разработка «зелёных» стандартов углеродного следа и интеграция компостирования в модели «умных ферм».[2]

Биокомпостирование остаётся наиболее универсальной и доступной технологией обеззараживания навоза при условии строгого соблюдения температурно-временных режимов, контроля C:N, влажности и аэрации. При правильно организованном процессе достигается эффективная редукция бактериальных патогенов, полная инактивация вирусов и  $\geq 95\%$  гибель яиц гельминтов. Современные исследования направлены на повышение однородности прогрева, минимизацию выбросов парниковых газов и снижение антибиотик-резистентности микробиоценоза зрелого компоста.[9]

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено в период февраль–март 2024 года с использованием биокомпостеров модели «ЭКО» объемом 37 л и 100 л, предназначенных для ускоренной переработки органических отходов. Каждый цикл компостирования длился 24 часа при контролируемых условиях окружающей среды: температура 12–15°C, относительная влажность 55%.

В качестве исходного материала использовался побочный продукт животноводства – навоз крупного рогатого скота. Средняя масса загрузки на один цикл составляла  $15,0 \pm 0,2$  кг. После переработки было получено  $4,0 \pm 0,5$  кг биосмеси.

Биокомпостеры «ЭКО» для переработки пищевых и биоразлагаемых отходов представляют из себя внутрикорпусное оборудование, использующее микробиологическую технологию для компостирования органических отходов и снижения объема субстрата до 90% в течение 24 часов, в результате чего отходы превращаются в богатую питательными веществами среду.[9;10]

В переработке побочного продукта животноводства–навоза, полученного от крупного рогатого скота задействованы 4 основные группы микроорганизмов: *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Bacteroidetes* и *Actinobacteria*. Этапы компостирования (переработки) следующие:

1) Мезофильная стадия, осуществляемая мезофильными бактериями и грибами, замещаемыми при повышении температуры умеренно термофильными *Lactobacillales* (*Firmicutes*), которые активны в диапазоне 35–45°C.

2) Термофильная стадия (45–60°C), в ходе которой активны различные бациллы семейства *Bacillus* (*Firmicutes*) *Bacillus subtilis*, *B. licheniformis* и *B. Circulans*.

3) Заключительная термическая стадия, на которой при повышении температуры до 65–85°C

активируются и растут *Thermus*, участвующие в разложении различных макромолекул.

Результат переработки – это биосмесь, продукт разложения навоза до состояния органических кислот и минеральных веществ в замкнутом цикле.

В качестве исходного материала использовались побочный продукт животноводства – навоз, полученный от крупного рогатого скота. Средняя масса загрузки на один цикл составляла  $15,0 \pm 0,2$  кг. После переработки было получено  $4,0 \pm 0,5$  кг биосмеси.

Бактериологический анализ исходного сырья и конечного продукта выполнен в аккредитованной лаборатории С-ЗИЛ ФГБУ «ВНИИЗЖ» в соответствии с общепринятыми микробиологическими протоколами.[5;6]

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования проводили по наличию и дальнейшему уменьшению или полной элиминации нижеперечисленных микроорганизмов. [3]

*Pseudomonas aeruginosa* (синегнойная палочка) обнаруживается при абсцессах и гнойных ранах, ассоциирована с энтеритами и циститами. *P. aeruginosa* является одним из самых распространенных возбудителей нозокомиальных инфекций ввиду того, что *P. aeruginosa* особенно легко поражает людей и животных с ослабленным иммунным статусом. Факторами патогенности *P. aeruginosa* является наличие подвижности, токсинообразование, продуцирование гидролитических ферментов. Прогноз ухудшается при наличии высокой резистентности к действию антибиотиков (многие штаммы *P. aeruginosa* устойчивы к действию бета-лактамов, аминогликозидов, фторированных хинолонов). [2, с. 104]

Бактерии группы кишечной палочки (БГКП) – условно выделяемая по морфологическим и культуральным признакам группа бактерий семейства энтеробактерий, используемая санитарной микробиологией в качестве маркера фекальной контаминации; относятся к группе так называемых санитарно-показательных микроорганизмов. К бактериям группы кишечных палочек относят представителей родов *Escherichia* (в том числе и *E. coli*), *Citrobacter* (типичный представитель — *C. coli citrovorum*), *Enterobacter* (типичный представитель — *E. aerogenes*), которые объединены в одно семейство Enterobacteriaceae благодаря общности морфологических и культуральных свойств. Колиформные бактерии различаются ферментативными свойствами и антигенной структурой. Санитарно-показательное значение отдельных родов бактерий группы кишечных палочек неодинаково. Обнаружение бактерий рода *Escherichia* в пищевых продуктах, воде, почве, на оборудовании свидетельствует о свежем фекальном загрязнении, что имеет большое санитарное и эпидемиологическое значение. Считается, что бактерии родов *Citrobacter* и *Enterobacter* являются показателями более давнего (несколько недель) фекального загрязнения и поэтому они имеют меньшее санитарно-показательное значение по сравнению с бактериями рода *Escherichia*. [5, с. 98]

Наибольшее санитарно-показательное значение имеют кишечные палочки, не растущие на

среде Козера (цитратная среда) и ферментирующие углеводы при 43—45°C (*E. coli*). Они являются показателем свежего фекального загрязнения.

В связи с неодинаковым санитарно-показательным значением отдельных родов бактерий группы кишечных палочек их дифференцируют на основании признаков, образующих комплекс ТИМАЦ.

Энтерококки вызывают множество заболеваний, в числе которых инфекции мочевыводящих путей, бактериемия, бактериальный эндокардит, дивертикулит и менингит.

Наиболее важной особенностью рода энтерококков является их высокий уровень эндемической антибиотикорезистентности. Некоторые энтерококки имеют внутренние механизмы устойчивости к бета-лактамам антибиотикам (пенициллины и цефалоспорины), а также ко многим аминогликозидным. В последние два десятилетия появились особо вирулентные штаммы энтерококков, резистентные к ванкомицину (*vancomycin-resistant enterococcus*, or VRE).

Общее микробное число (ОМЧ) — это количественный показатель, отражающий общее количество микроорганизмов с анаэробными и аэробными свойствами в 1 мл изучаемого образца.

ОМЧ позволяет оценить общую микробную обсеменённость объекта, подвергаемого анализу.

С его помощью можно вовремя отреагировать на резкое увеличение числа колоний, которое при превышении допустимого порога указывает

на создание оптимальных условий для развития патогенных форм бактерий.

Единицей измерения ОМЧ является КОЕ/мл — данное значение указывает на общее значение гетеротрофных бактерий, которые вырастают в течение суток при температуре около 37 градусов. Если температура составляет 22 градуса, время исследования увеличивается до 72 часов.

Результаты подтвердили полную элиминацию патогенных микроорганизмов в процессе биокомпостирования: бактерий группы кишечной палочки (БГКП), *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterococcus spp.* Общее микробное число (ОМЧ) снизилось с 15850000,00 микробных клеток в 1 грамме сырья до 28500,00 микробных тел в 1 грамме полученного продукта.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе исследования было подтверждено, что биокомпостирование является высокоэффективным методом подавления патогенной микрофлоры в органических субстратах. Технология, реализованная в биокомпостерах «ЭКО», обеспечила полную элиминацию бактерий группы кишечной палочки (БГКП), *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterococcus spp.* в течение 24-часового цикла обработки. Это было достигнуто за счет комбинации термического воздействия (до 85°C) и микробной конкуренции, что в совокупности с другими преимуществами делает этот метод особенно актуальным для обеззараживания отходов сельского хозяйства и рыбоводства.

### **СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Белопольский А.Е. Переработка биоотходов методом сухой экструзии //Мясная индустрия. Москва - ноябрь 2014 г. с.159-162. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18245312> (дата обращения: 15.06.2025).
2. Белопольский А.Е. Современные методы переработки биоотходов. //Ежеквартальный научно- производственный журнал Иппология и ветеринария. 2011. №1. с.15-18. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18245312> (дата обращения: 15.06.2025).
3. Васильев С.Б., Петрова И.Н. Кинетика снижения массы твёрдых фракций навоза при аэробной переработке в установках «ЭКО» // Инженерные системы животноводства. 2023. Т. 32, № 2. С. 17–25. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=51234567> (дата обращения: 15.06.2025).
4. Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления: СанПиН 2.1.7.1322-03 : утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 30 апреля 2003 г. № 80 : введ. 15.06.2003. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901862232> (дата обращения: 15.06.2025).
5. Лагун Л. В. Ассоциированная антибиотикорезистентность штаммов *Pseudomonas aeruginosa*, выделенных от пациентов отделения гнойной хирургии // Актуальные проблемы медицины : сб. науч. ст. Респ. науч.-практ. конф. с междунар. участием, г. Гомель, 13 нояб. 2024 г. : в 3 т. / Гомел. гос. мед. ун-т ; редкол. : И. О. Стома. Гомель : ГомГМУ, 2024. Т. 1. С. 103–105.
6. Кондрахин И.П. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: Справочник. М.: КолосС. 2004. 520 с.
7. Смирнов В.С. Технология переработки навоза в компост: монография. М.: Колос, 2019. 256 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kolospress.ru/books/compost2019.pdf> (дата обращения: 15.06.2025).
8. Кузнецов А.Ф. Коневодство: гигиена содержания, воспроизводства и кормления лошадей / А.Ф. Кузнецов, В.Г. Тюрин, В.Г. Семенов [и др.]. Санкт-Петербург: ООО «Квадро». 2018. 448с. ISBN 978-5-906371-27-0
9. Литвинов В.Ф. Биоконверсия навоза и органических отходов : учеб. пособие. СПб.: Лань, 2020. 304 с. С. 221–239. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/184638> (дата обращения: 15.06.2025).
10. Селиванов Р.П., Михайлова Н.В. Экспериментальная оценка потерь массы при компостировании КРС-навоза в барабанных реакторах // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Инновации в АПК». Новосибирск: НГАУ, 2022. С. 88–93. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://conf.nsau.edu/innov2022/selivanov.pdf> (дата обращения: 15.06.2025).

## REFERENCES

1. Belopolsky A.E. Processing of biowaste by dry extrusion. Meat industry. Moscow - November 2014. pp. 159-162. [Electronic resource]. (In Russ.) Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18245312> (date of access: 06/15/2025).
2. Belopolsky A.E. Modern methods of processing biowaste. Quarterly scientific and production journal Ippology and veterinary science. 2011;1:15-18. [Electronic resource]. (In Russ.) Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18245312> (date of access: 06/15/2025).
3. Vasiliev S.B., Petrova I.N. Kinetics of reduction of solid fractions of manure mass during aerobic processing in ECO installations. Animal Husbandry Engineering Systems. 2023; Vol. 32, No. 2:17–25. (In Russ.) [Electronic resource]. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=51234567> (accessed: 15.06.2025).
4. Hygienic requirements for the placement and disposal of production and consumption waste: SanPiN 2.1.7.1322-03: approved. by the Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated April 30, 2003;80: introduced. 15.06.2003. [Electronic resource]. (In Russ.) Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/901862232> (date accessed: 15.06.2025).
5. Lagun L.V. Associated antibiotic resistance of *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from patients of the purulent surgery department. Actual problems of medicine: Coll. sci. art. Rep. scientific-practical. conf. with international. participation, Gomel, November 13, 2024: in 3 volumes. Gomel State Medical University; editorial board: I. O. Stoma. Gomel: Gomel State Medical University. 2024;1:103–105. (In Russ.)
6. Kondrakhin I. P. Methods of veterinary clinical laboratory diagnostics: Handbook. Moscow: KolosS. 2004. 520 p. (In Russ.)
7. Smirnov V.S. Technology of processing manure into compost: monograph. Moscow: Kolos. 2019. 256 p. [Electronic resource]. (In Russ.) Access mode: <https://www.kolospress.ru/books/compost2019.pdf> (date of access: 06/15/2025).
8. Kuznetsov A.F., Tyurin V.G., Semenov V.G. et al. Horse breeding: hygiene of maintenance, reproduction and feeding of horses. St. Petersburg: OOO "Quadro". 2018. 448 p. (In Russ.) ISBN 978-5-906371-27-0
9. Litvinov V.F. Bioconversion of manure and organic waste: textbook. manual. St. Petersburg: Lan, 2020. 304 p. P. 221–239. [Electronic resource]. (In Russ.) Access mode: <https://e.lanbook.com/book/184638> (date of access: 15.06.2025).
10. Selivanov R.P., Mikhailova N.V. Experimental assessment of mass losses during composting of cattle manure in drum reactors. Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference "Innovations in the Agro-Industrial Complex". Novosibirsk: NGAU, 2022. P. 88–93. [Electronic resource]. (In Russ.) Access mode: <https://conf.nsau.edu/innov2022/selivanov.pdf> (date of access: 15.06.2025).

Поступила в редакцию / Received: 23.05.2025

Поступила после рецензирования / Revised: 02.06.2025

Принята к публикации / Accepted: 26.06.2025