

МИКРОБНАЯ ОБСЕМЕНЕННОСТЬ ОТХОДОВ РЫБНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПОСЛЕ БИОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В КОМПОСТЕРАХ «ЭКО».

Роман Михайлович Хоменко¹, Александр Владимирович Симейко²✉

^{1,2}Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Российская Федерация
¹канд. ветеринар. наук, доц., orcid.org/0000-0002-9817-1400

²аспирант, email: alexandersimeyko@gmail.com

РЕФЕРАТ

Цель данного исследования — определить влияние инокуляции рыбных отходов лактобактериями на качество субстрата и полученного продукта биотермической переработки в биокомпостерах, а также на кинетику процесса и санитарно-гигиенические показатели.

Эффективное снижение микробной обсемененности в отходах рыбного производства может быть достигнуто с помощью современных биотермических технологий. Процесс протекает в специальных установках в субстрате из термофильных микроорганизмов разогретом до температуры 65°C.

Многоступенчатая технология приводит к деградации органического субстрата, в результате которой образуется порошкообразная смесь, включающая продукт переработки рыбных отходов с микроорганизмами.

Исследования на крысах показали отсутствие общей токсичности. Продукт может быть рекомендован для применения в качестве кормовой добавки или удобрения. Объем, полученного продукта составляет 10% от исходного. Параллельно происходит обеззараживание материала с деактивацией патогенной микрофлоры, включая антибиотико-резистентные штаммы.

В статье приведено научное обоснование и описана экспериментальная проверка технологии, сочетающей раннюю молочнокислую ферментацию сырья с последующим аэробным термофильным компостированием в биокомпостерах «ЭКО» при оптимизированном соотношении рыбных отходов и молочнокислых бактерий. Показано, что введение лактобактерий обеспечивает быстрое подкисление сырья, подавление гнилостной микрофлоры и ускорение наступления устойчивой термофильной фазы. В основе метода лежит комбинированное применение микробиологических процессов и температурного воздействия, что обеспечивает аэробное разложение органики термофильными микроорганизмами при 65 °C. За 24 часа объем отходов сокращается на 90%, а на выходе образуется биосмесь с высоким содержанием питательных веществ, пригодная для использования в качестве кормовой добавки или органического удобрения.

Эмпирические данные указывают на высокую эффективность биокомпостирования: технологическому (сокращение сроков утилизации и повышение стабильности процесса), санитарно-микробиологическому (надёжное подавление нежелательной микрофлоры), органолептическому (удаление неприятных запахов) и качественному (сохранение питательных веществ, повышение качества компоста).

Технология может быть рекомендована к внедрению на рыбоперерабатывающих предприятиях и объектах переработки органических отходов.

По результатам бактериологического анализа общее микробное число уменьшилось с 36 000 000 до 1 780 КОЕ/г, а целевые патогены были полностью ликвидированы

Ключевые слова: рыбные отходы, биотермическая переработка, биокомпостер, лактобактерии, микробная загрязненность, компостирование.

Для цитирования: Хоменко Р.М., Симейко А.В. Микробная обсемененность отходов рыбного производства после биотермической обработки в компостерах «ЭКО». Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. 2026;2:180-184. <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2026.2.180>

MICROBIAL CONTAMINATION OF FISH PRODUCTION WASTE AFTER PROCESSING IN ECO BIOCOMPOSTERS

Roman M. Khomenko¹, Alexander V. Simeyko²

^{1,2}Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Russian Federation

¹Candidate of Veterinary Sciences, Assoc. Prof., orcid.org/0000-0002-9817-1400

²Postgraduate Student, email: alexandersimeyko@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the effect of inoculation of fish waste by lactobacilli on the quality of the substrate and the resulting biotermic processing product in biocomposters, as well as on the kinetics of the process and sanitary and hygienic indicators.

An effective solution is aerobic biocomposting with thermophilic microorganisms at 65°C. The technology provides multi-stage degradation of the organic substrate, resulting in the formation of a bio-mixture suitable for use as a feed additive or fertilizer, with a volume of 10% of the initial. In parallel, the material is decontaminated with the deactivation of pathogenic microflora, including antibiotic-resistant strains.

The article is devoted to the scientific substantiation and experimental verification of a technology combining early lactic acid fermentation of raw materials with subsequent aerobic thermophilic composting in ECO biocomposters with an optimized ratio of fish waste and lactic acid bacteria. It has been shown that the introduction of lactobacilli provides rapid acidification of raw materials, suppression of putrefactive microflora and

acceleration of the onset of a stable thermophilic phase. The method is based on the combined use of microbiological processes and temperature exposure, which ensures the aerobic decomposition of organic matter by thermophilic microorganisms at 65 °C. In 24 hours, the volume of waste is reduced by 90%, and a bio-mixture with a high nutrient content is formed at the outlet, suitable for use as a feed additive or organic fertilizer.

Research demonstrates the high efficiency of biocomposting in three areas: technological (reducing the ripening time and increasing the stability of the process), sanitary and microbiological (reliable suppression of unwanted microflora) and ecological/agronomic (reducing odors and nutrient losses, improving the quality of compost).

The technology can be recommended for implementation at fish processing enterprises and organic waste processing facilities.

Bacteriological analysis confirmed a decrease in the total microbial number from 36,000,000 to 1,780 CFU/g and the complete elimination of target pathogens.

Key words: fish waste, biothermal processing, biocomposter, lactobacilli, lactic acid fermentation, and composting.

For citation: Khomenko R.M., Simeiko A.V. Microbial contamination of fish production waste after processing in ECO biocomposters. Legal regulation in veterinary medicine. 2026;2:180-184. (in Russ) <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2026.2.180>

ВВЕДЕНИЕ

Рыбоперерабатывающие предприятия формируют значительные потоки органических отходов с высоким содержанием белка, липидов и минеральных элементов. Традиционные методы утилизации биоотходов не всегда обеспечивают требуемый уровень экологической и санитарной безопасности при приемлемых затратах [8;9]. Биотермическая переработка в закрытых биокомпостерах рассматривается как перспективное решение в экономике сельского хозяйства [3;4]. Она совмещает стабилизацию органической фракции с получением кормовой добавки или органического удобрения. Однако специфика рыбных отходов (высокая влажность, жирность и неблагоприятное соотношение углерода и азота) снижает предсказуемость процесса и требует доработки технологической схемы [2;3].

Основным механизмом обезвреживания патогенов в процессе компостирования является тепло: термофильная стадия (55–70 °C) приводит к денатурации белков, нарушению оболочек вирусов и уничтожению патогенной микрофлоры. Одним из рациональных подходов является сочетание молочнокислой биоконсервации с последующим аэробным термофильным компостированием. Инокуляция лактобактериями инициирует быструю ферментацию легкоусвояемых субстратов с накоплением органических кислот и метаболитов антагонистического действия, что подавляет гнилостную микрофлору, уменьшает интенсивность протеолиза и деградации липидов, снижает эмиссию летучего азота и сернистых соединений и стабилизирует процесс на ранней стадии. На термофильной фазе компостирования развёртываются дополнительные механизмы санации и гумификации, формируя зрелый продукт с улучшенными агрономическими свойствами.

Кинетика инактивации основных патогенов по литературным данным следующая [4;8]:

Бактерии: *Salmonella* – 3–5 log₁₀ снижение за 3 суток при t= 55 °C., *E. coli* O157:H7 – полная гибель ≤ 2 суток при t= 60 °C.

Вирусы: энтеротропные – 3-5 log₁₀ за 6 часов при t=65 °C.

Протозои: *Giardia* cysts – 99 % инаktivация за 3 суток при t=60 °C.

Гельминты: личинки Anisakidae – D55 °C ≈ 30–40 минут при t= 50 °C в течение 3–7 суток.

Ключевые технологические факторы:

♦ Характеристики сырья: доля белка и липидов, степень измельчения и однородность, присутствие костно-хитиновой фракции, солёность и буферная ёмкость.

♦ Формирование композиции смеси: подбор растительных со-субстратов и структурообразующих добавок для регуляции влажности и углеродного баланса;

♦ Биологическая подготовка: выбор безопасных производственных штаммов лактобацилл и способ их внесения; обеспечение доступности легкоферментируемых углеводов при сохранении технологической управляемости. Способы переработки рыбных отходов постоянно дополняются новыми способами.

Исследования направлены на оптимизацию и контроль переработки рыбных отходов: мультимодальные технологии (термофильное компостирование с последующим анаэробным озонированием фильтрата). Используются IoT-сенсоры температуры и газов и алгоритмы предиктивного контроля вентиляторов. Разрабатываются экологические стандарты углеродного следа и решения по встраиванию компостирования в модели «умных ферм».[2]

При условии точного контроля температуры, времени, соотношения C:N, влажности и аэрации биокомпостирование остаётся самым доступным и универсальным способом биотермической переработки рыбных отходов. Правильно настроенный процесс приводит к эффективному снижению бактериальной нагрузки, полной инаktivации вирусов и уничтожению не менее 95 % патогенных микроорганизмов. Актуальные исследования направлены на оптимизацию технологий в аграрном секторе и будут в дальнейшем применяться в сельском хозяйстве.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве модельного субстрата для биоконверсии были использованы рыбные отходы, полученные в результате переработки радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*). Выбор данного сырья обусловлен его высокой биологической активностью для оценки эффективности процесса компостирования.

В качестве оборудования для биотермической переработки рыбных отходов использовали биокомпостеры «ЭКО», предназначенные для переработки пищевых и биоразлагаемых отходов. Они представляют собой внутрикорпусное технологическое оборудование, реализующее микробиологический метод компостирования. Принцип функционирования устройства основан на управляемой активации процессов биodeградации органического субстрата посредством специально подобранных микробных сообществ. В ходе технологического цикла обеспечивается существенное сокращение объёма перерабатываемого материала — до 90 % — в течение регламентированного периода, составляющего 24 часа.

Научные исследования проводились с февраля по апрель 2024 года с использованием биокомпостеров «ЭКО» объёмом 37 и 100 литров. Исследования проводились при температуре окружающей среды 12-15°C и относительной влажности 55%. В качестве исходного субстрата использовалась смесь органических отходов рыбного происхождения с массой загрузки 15,0±0,2 кг. Испорченная рыба измельчалась с помощью электрической мясорубки до состояния фарша (можно использовать и более крупные части — но рыба была неоднородной по своей консистенции) и вручную с помощью стерильного совка помещалась в приемное окно биокомпостера. Масса отходов определялась при помощи электронных весов «Delta»ТВН-40 (класс точности III, диапазон 0,2-40 кг, погрешность ±0,005 кг, поверка от 23.01.2024), а объём — мерной ёмкостью «BURKLE» (25 л, поверка от 19.12.2023). Количественное исследование молочнокислых бактерий в субстрате и конечном продукте проводилось в бактериологической лаборатории С-ЗИЛ ФГБУ «ВНИИЗЖ» в соответствии с ГОСТ 10444.11-2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчёта количества мезофильных молочнокислых микроорганизмов», п.п. 9.2.1-9.2.4, 9.2.6-9.2.7, 10.

Микробиологические исследования проводились в аккредитованной лаборатории ВНИИЗЖ согласно утвержденным методикам в соответствии с ГОСТами и правилами: ГОСТ 10444.8-2013 - Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных Горизонтальный метод подсчета презумптивных бактерий *Bacillus cereus*. Метод подсчета колоний при температуре 30°C, ГОСТ 31746-2012 (ISO 6888-1:1999, ISO 6888-2:1999, ISO 6888-3:2003)-Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и *Staphylococcus aureus*, п.4.1.1, Правила бактериологического исследования кормов, утв. ГУБ МСХ СССР 10.06.1975г., п.п.2.6.1-2.6.2, ГОСТ 31878-2012- Корма для животных. Метод обнаружения и подсчета бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий) метод наиболее вероятного числа, п.9.1, СОП-05-05-03 по лабораторной диагностике сальмонеллёзов животных и птиц, обнаружение сальмонелл в биологическом материале, ГОСТ 10444.11-2013 (ISO 15214:1998)-Микробиология пищевых продуктов и кормов

для животных. Методы выявления и подсчета количества мезофильных молочнокислых микроорганизмов, п.п.9.2.1-9.2.4, 9.2.6-9.2.7, 10, ГОСТ 10444.9-88 - Продукты пищевые. Метод определения *Cl. Perfringens*, п.п. 3, 4, СОП-05-05-04 по методам выявления бактерий вида *Pseudomonas aeruginosa* в кормах, Методика бактериологического исследования кормов на энтерококки. У111. 21 марта 1986г., п.2, Правила бактериологического исследования кормов, утв. ГУБ МСХ СССР 10.06.1975г., п.п.2.5.1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В период с февраля по март 2024 года было проведено экспериментальное исследование, посвящённое изучению процесса ускоренной биоконверсии органических отходов с использованием специализированного оборудования. В качестве технологического инструментария применялись биокомпостеры модели «ЭКО» номинальной вместимостью 100 л. Каждый экспериментальный цикл компостирования регламентировался фиксированной продолжительностью, составляющей 24 ч.

В ходе эксперимента обеспечивался строгий мониторинг ключевых параметров окружающей среды: температурный режим поддерживался в диапазоне 12–15°C; уровень относительной влажности фиксировался на отметке 55%.

Средняя масса загрузки отходов на один цикл представлена в таблице 1.

В результате биоконверсии исходные отходы трансформировались в гомогенную субстратную массу, характеризующуюся высоким содержанием биодоступных питательных веществ. [1]

Выполнено исследование на предмет присутствия патогенных микроорганизмов, а также степени их последующего уменьшения либо полной ликвидации в анализируемой среде. [3]

Среди бактерий группы кишечной палочки (БГКП) наибольшую санитарно-показательную ценность представляют штаммы *Escherichia coli*, характеризующиеся двумя ключевыми биологическими признаками: способностью ферментировать углеводы при повышенной температуре (43–45 °C) и отсутствием роста на цитратной среде Козера.

Наиболее важной особенностью рода энтерококков является их высокий уровень эндемической антибиотикорезистентности. Некоторые энтерококки имеют внутренние механизмы устойчивости к бета-лактамам антибиотикам (пенициллинам и цефалоспорины), а также ко многим аминогликозидным. В последние два десятилетия появились особо вирулентные штаммы энтерококков, резистентные к ванкомицину (*vancomycin-resistant enterococcus*, or *VRE*). Сравнительный анализ элиминации микроорганизмов отображен в Таблице 2.

Результаты подтвердили полную элиминацию патогенных микроорганизмов в процессе биоконверсии: бактерий группы кишечной палочки (БГКП), *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterococcus spp.* Общее микробное число (ОМЧ) снизилось с 36 000 000 микробных клеток в 1 грамме сырья до 1780,00 микробных тел в 1 грамме полученного продукта.

Таблица 1. Средняя масса загрузки отходов на один цикл.
Table 1. Average mass of waste loading per cycle.

Параметр	Значение
Средняя масса загрузки за один цикл	15,0 кг рыбных отходов ± 15,0 кг бактерий
Полученная масса биосмеси	1,5 кг продукта ± 15 кг бактериального субстрата

Таблица 2. Сравнительный анализ активности микроорганизмов до и после биотермической переработки радужной форели.

Table 2. Comparative analysis of microorganism activity before and after biothermal processing of rainbow trout.

Наименование микробиологического показателя	Результат до переработки	Результат после переработки 36 часов	Результат после переработки 72 часов
<i>B. cereus</i>	Не обнаружено в 0,1г	Не обнаружено в 0,1г	Не обнаружено в 0,1г
<i>S. aureus</i>	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
Анаэробы	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
БГКП	Обнаружено в 0,1 г. 1×10^5 КОЕ	Не обнаружено в 0,1г	Не обнаружено в 0,1г
Бактериальная обсемененность	36 000 000 микробных клеток в 1 г	80 000 микробных клеток в 1 г	1780 микробных клеток в 1 г
Бактерии рода <i>Salmonella</i>	Обнаружено в 25г 325 КОЕ	Не обнаружено в 25 г	Не обнаружено в 25 г
Молочнокислые микроорганизмы	$1,0 \times 10^1$ КОЕ/г	$1,0 \times 10^1$ КОЕ/г	$1,0 \times 10^1$ КОЕ/г
Протей	Не выделено	Не выделено	Не выделено
<i>Cl. perfringens</i>	Не обнаружено в 0,1г	Не обнаружено в 0,1г	Не обнаружено в 0,1г
Синегнойная палочка	Обнаружено в 0,1г 3×10^2	Не обнаружено в 0,1г	Не обнаружено в 0,1г
Энтерококки	Обнаружено в 0,1г 298 КОЕ	Не обнаружено в 0,1г	Не обнаружено в 0,1г
Энтеропатогенные типы кишечной палочки	Не обнаружены	Не обнаружены	Не обнаружены

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.

Общее микробное число (ОМЧ) снизилось с 36 000 000 до 1 780 КОЕ/г и полное устранение целевых патогенов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Акиев, М.Р. Биокомпостирование как эффективный метод подавления БГКП. Материалы VIII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых том I. Макевка, апрель 2025: 10-15.
2. Белопольский, А.Е. Переработка биоотходов методом сухой экструзии. Мясная индустрия. 2014; 11: 39-41.
3. Белопольский, А.Е. Современные методы переработки биоотходов. Иппология и ветеринария. 2011;1:15-18.
4. Sanchez-Monedero M.A., Roig A., Cegarra J., Bernal M.P. Nitrogen transformations during composting of nitrogen-rich wastes (including fish waste) and relationship with compost maturity. Bioresource Technology. Bioresource Technology. August 2001; 78(3):301-8. DOI:10.1016/S0960-8524(01)00031-1
5. 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.
6. Кузнецов, А.Ф., Тюрин В.Г., Племяшов К.В. и др. Свиноводство: гигиена и технологии содержания, разведения и кормления свиней. Санкт-Петербург: ООО Квадро. 2019: 300 с.
7. 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;1:103–105.
8. Кондрахин, И.П. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: Справочник М. КолосС. 2004: 520 с.

REFERENCES

1. Akiev, M.R. Biocomposting as an effective method for coliform bacteria suppression. Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists, Volume I. Makeyevka, April 2025: 10-15. (in Russ)
2. Belopolsky, A.E. Biowaste processing by dry extrusion. Meat Industry. 2014; 11: 39-41. (in Russ)
3. Belopolsky, A.E. Modern methods of biowaste processing. Ippology and Veterinary Science. 2011; 1:15-18. (in Russ)
4. Sanchez-Monedero M.A., Roig A., Cegarra J., Bernal M.P. Nitrogen transformations during composting of nitrogen-rich wastes (including fish waste) and relationship with compost maturity. Bioresource Technology. Bioresource Technology. August 2001; 78(3):301-8. DOI:10.1016/S0960-8524(01)00031-1
5. 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 of April 30, 2003, No. 80: introduced. June 15, 2003. (in Russ)
6. Kuznetsov, A.F., Tyurin V.G., Plemyashov K.V., et al. Pig farming: hygiene and technologies for keeping, breeding, and feeding pigs. St. Petersburg: OOO Quadro. 2019: 300 p. (in Russ)
7. Lagun, L.V. Associated antibiotic resistance of *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from patients of the purulent surgery department. Actual problems of medicine: collection of scientific papers. scientific. 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)
8. Kondrakhin, I. P. Methods of veterinary clinical laboratory diagnostics: Handbook M. KolosS. 2004: 520 p. (in Russ)

Поступила в редакцию / Received: 10.04.2026

Поступила после рецензирования / Revised: 23.06.2026

Принята к публикации / Accepted: 30.06.2026