

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/1>


УДК 630.674.8



Биоудобрение из древесных отходов и осадка сточных вод с повышенным содержанием азота

Лариса В. Брындина¹✉, bryndinv@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0001-2345-6789>

Анна Ю. Корчагина¹, nuta10011@yandex.ru,  <https://orcid.org/0009-0007-2168-1211>

Зоран Говедар², zoran.govedar@sf.unibl.org  <https://orcid.org/0000-0001-9791-4113>

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

²Государственный университет в Бая-Луке, Петра Бойовика 1А, Бая-Лука, Босния и Герцеговина

В России остро стоит вопрос переработки древесных отходов. Одним из способов вторичного использования опилок является переработка их в биоудобрения, но из-за низкого содержания азота в составе необходимо внесение дополнительных компонентов. В связи с этим рассмотрена возможность обогащения древесных опилок осадком сточных вод, который является отходом очистных сооружений. В работе методом полного факторного эксперимента проведена оптимизация состава питательной среды для повышения эффективности продуцирования ферментов биосуспензии, оценена биodeградационная возможность микроорганизмов. Биосинтез консорциума на подобранной среде достоверно увеличивал ферментативную активность: протеолитическая активность возросла в 3 раза, липолитическая – на 32,8 %, амилитическая – на 69,2 %. Оптимизация условий выращивания консорциума позволила снизить уровень загрязнения сточных вод на 84,1 %. Образующийся в ходе очистки осадок, благодаря модификации активного ила биокomпозицией подобранных микроорганизмов преобразован в продукт высокой биологической ценности: количество органического вещества увеличилось на 25,7 %, общий азот повысился в 1,7 раз, а углерод – на 5,2 %. Обогащение древесных опилок осадком сточных вод дает возможность использования смеси в качестве удобрения с высокой питательной ценностью для роста и развития растений. Внесение биокomпозита в почву позволяет повысить ее плодородие и улучшить структуру.

Ключевые слова: *древесные опилки, осадок сточных вод, биосинтез, органическое удобрение, биологическая суспензия*

Финансирование: Работа проводилась при поддержке гранта РФФИ 20-34-90126/№ 20 «Оптимизация биоценоза активного ила городских очистных сооружений».


Благодарности: Авторы выражают благодарность рецензентам и редакторам за вклад в экспертную оценку статьи.


Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Брындина, Л. В. Биоудобрение из древесных отходов и осадка сточных вод с повышенным содержанием азота / Л. В. Брындина, А. Ю. Корчагина, З. Говедар // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 3 (51). – С. 5–16. – Библиогр.: с. 12–15 (20 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/1>.

Поступила 31.08.2023. Пересмотрена 10.11.2023. Принята 11.11.2023. Опубликована онлайн 30.11.2023.

Biofertilizer from wood waste and sewage sludge with a high nitrogen content

Larisa V. Bryndina¹✉, bryndinv@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0001-2345-6789>,

Anna Y. Korchagina¹, nuta10011@yandex.ru,  <https://orcid.org/0009-0007-2168-1211>

Zoran Govedar², zoran.govedar@sf.unibl.org  <https://orcid.org/0000-0001-9791-4113>

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh city, 394087, Russian Federation

²State University in Banja Luka. Petra Bojovica 1A, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina

Abstract

In Russia, the issue of wood waste processing is acute. One of the ways to reuse sawdust is to process them into biofertilizers, but due to the low nitrogen content in the composition, additional components must be added. In this regard, the possibility of enriching sawdust with sewage sludge, which is waste from sewage treatment plants, has been considered. In the work, the composition of the nutrient medium was optimized by the method of a full factorial experiment to increase the efficiency of the production of biosuppression enzymes, the biodegradation capability of microorganisms was evaluated. The biosynthesis of the consortium on the selected medium significantly increased the enzymatic activity: proteolytic activity increased 3 times, lipolytic - by 32.8%, amylolytic – by 69.2%. Optimization of the growing conditions of the consortium allowed reducing the level of wastewater pollution by 84.1%. The sediment formed during purification, due to the modification of activated sludge by the biocomposition of selected microorganisms, was a product of high biological value: the amount of organic matter increased by 25.7%, total nitrogen increased by 1.7 times, and carbon – by 5.2%. The enrichment of sawdust with sewage sludge makes it possible to use the mixture as a fertilizer with high nutritional value for plant growth and development. The introduction of biocomposite into the soil allows to increase its fertility and improve the structure.

Keywords: sawdust, sewage sludge, biosynthesis, organic fertilizer, biological suspension.

Funding: this research was carried out with the support of RFBR grant 20-34-90126/No. 20 «Optimization of the biocenosis of activated sludge of urban wastewater treatment plants».

Acknowledgments: authors thank their gratitude to the reviewers and editors for their contribution to the expert evaluation of the article.

Conflict of interest: authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Bryndina L.V., Korchagina A.Y., Govedar Z. Biofertilizer from wood waste and sewage sludge with a high nitrogen content. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 13, No. 3 (51), pp. 5-16 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/1>.

Received 31.08.2023. **Revised** 10.11.2023. **Accepted** 11.11.2023. **Published online** 30.11.2023.

Введение

Лесоперерабатывающие производства в нашей стране и зарубежом развиваются практически в одном направлении, но страны Запада очень быстро освоили комплексное использование биомассы древесины. Зарубежные предприятия рас-

сматривают древесные отходы как сопутствующее сырье, которое может быть вовлечено в производство и приносить дополнительный доход. В России сегодня перерабатывается только 48–58 % древесных отходов от 68–74 млн м³, образующихся ежегодно [1]. Причин, по которым почти половина

древесных отходов не включается во вторичное производство, много, но наиболее распространенной можно назвать отсутствие инвестиций для реализации ресурсосберегающих технологий [2]. Поэтому одним из возможных путей утилизации древесных отходов, не требующих серьезных затрат, может стать переработка их в биоудобрения, компост, почвогрунт [3]. Все эти способы не только решают вопросы рециклинга отходов, но и являются экологически безопасными. Но при таком использовании древесных отходов, из-за низкого содержания азота [4, 5], требуется внесение дополнительных компонентов. Исследования по обогащению древесных опилок различными биодобавками ведутся широко [6–9]. К наиболее распространенным способам повышения питательной ценности древесных опилок можно отнести обогащение навозом [10], осадком сточных вод [11, 12] с последующим компостированием [13–16]. Несмотря на многие положительные стороны компостирования это достаточно длительный процесс. Абузовым А.В. с соавторами в качестве биоудобрений предложено компостирование древесных отходов в течение 3–4 месяцев [17]. Для его ускорения рекомендуется вносить специфичные микроорганизмы. Беловежец Л.А. предлагает вносить в опилки микроорганизмы *Acremonium* sp., *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Sporotrichum pulverulentum*, предварительно выращенные на питательной среде определенного состава в соотношении опилок к биосуспензии 100:0,1 – 0,3 [18]. Сотрудники Тульского государственного педагогического университета для ускорения процесса разложения древесных отходов обрабатывали их грибами-деструкторами: *Pleurotus ostreatus*, *Schizophyllum commune*, *Peniophora gigantea* и компостировали [19]. Поиски новых микробных композиций, повышающих биологическую ценность биоудобрений из древесных опилок, становятся актуальными. В связи с вышеизложенным целью исследования рассмотрена возможность обогащения древесных опилок осадком сточных вод, полученным после модификации активного ила специально подобранным консорциумом микроорганизмов.

Материалы и методы

Предмет и объект исследований

Предметом исследования являлись характеристики разработанного состава биоудобрения из древесных отходов и осадков сточных вод, биологическая суспензия, интенсифицирующая деструкцию органических загрязнений активного ила.

Объектами исследования являлись древесные опилки сосны, ясеня, дуба; активный ил, образующийся после биологической очистки сточных вод на ООО «ЛОС» г. Воронежа.

Сбор данных

Биологическая суспензия, интенсифицирующая деструкцию органических загрязнений активного ила представлена консорциумом микроорганизмов *Escherichia*, *Proteus*, *Staphylococcus*, *Azotobacter*, которые были идентифицированы и выделены в лаборатории промышленных биотехнологий Воронежского государственного лесотехнического университета.

Оптимизацию состава питательной среды для культивирования консорциума бактерий *Escherichia*, *Proteus*, *Staphylococcus*, *Azotobacter* проводили при температуре 37⁰С и начальном значении рН 7.0.

Концентрации компонентов питательной среды для культивирования консорциума микроорганизмов определяли с использованием результатов полного факторного эксперимента (ПФЭ).

Протеолитическую активность измеряли спектрофотометрическим методом по ГОСТ 20264.2-88. Определение амилалитической активности крахмалгидролизующих микроорганизмов осуществляли фотометрическим методом по ГОСТ Р 54330-2011. Липолитическую активность определяли титрованием смеси, содержащей 1см³ культуральной жидкости, 2см³ 1/15 М фосфатного буфера с рН 7.0 и 2.5см³ эмульсии оливкового масла.

Степень очистки сточных вод определяли по химическому потреблению кислорода (ХПК, мгО₂/дм³) рассчитывали по формуле

$$\text{ХПК} = \frac{(a - b)N \cdot 8 \cdot 1000}{V},$$

где a – объем раствора соли Мора, пошедший на титрование контроля, см³; b – объем раствора соли Мора, использованного для титрования в экспери-

менте, см³; N – нормальность раствора соли Мора, н; V – объем проанализированных сточных вод, см³; 8 – кислородный эквивалент.

Органическое вещество определяли по ГОСТ 27980-88 термогравиметрически. Общий азот определяли по ГОСТ 26715-85. Углерод – на

элементном анализаторе «Elementar Vario Macro Cube».

В качестве факторов, влияющих на биосинтез ферментов, были выбраны X_1 – картофельный крахмал, X_2 – пептон. Концентрация других компонентов питательной среды, оставалась неизменной на базовом уровне. Программа исследования была заложена в матрицу и представлена в табл. 1.

Таблица 1

Матрица планирования ПФЭ 2² и результаты эксперимента

Table 1

The planning matrix of FFE 2² and the results of the experiment

№ опыта Experience No.	1	2	3	4
X_1 , картофельный крахмал, % X_1 , potatostarch, %	3,1	4,1	3,1	4,1
X_2 , пептон, % X_2 , pepton, %	0,64	0,64	1,64	1,64
Протеиназа (ПА), ед/см ³ Y_{1cp} Proteinase (PA), ed/cm ³ Y_{1sr}	0,35	0,02	0,06	1,26
Липаза (ЛА), ед/см ³ Y_{2cp} Lipase (LA), ed/cm ³ Y_{2sr}	167,8	233,6	250,8	301,3
Амилаза (АА), ед/см ³ Y_{3cp} Amylase (AA), ed/cm ³ Y_{3sr}	17,2	30,9	24,9	41,5
Обозначение строк в матрице Notation of rows in the matrix	X_0	X_1	X_2	X_1X_2

Источник: собственные экспериментальные данные
Source: own experimental data

Для исследования эксперименты проводились по плану ПФЭ 2², эксперимент проводился в двух повторностях в каждой точке. Однородность дисперсий оценивалась с помощью критерия Кохрена с числами степеней свободы $v_1 = 1$; $v_2 = 4$ и уровнем значимости $q = 5\%$.

Полученное максимальное значение критерия Кохрена для протеиназы $G_{p1} = 0,81$, для липазы $G_{p2} = 0,65$, для амилазы $G_{p3} = 0,39$, которые во всех случаях меньше табличных (G_{p1} ; G_{p2} ; $G_{p3} < G_T = 0,906$). В силу этого процесс воспроизводим и можно предсказать ожидаемые результаты эксперимента.

Эмпирические данные подвергались статистической обработке и были получены уравнения регрессии. Коэффициенты регрессии оценивались на предмет значимости. Для биосинтеза протеиназы и липазы все коэффициенты оказались значимыми, для амилазы незначимым оказался $b_{1,2}$.

Предположение об адекватности полученных экспериментальных результатов было проверено с использованием критерия Фишера. Рассчитанное значение для протеиназы $F_{r1} = 0,0008$; для липазы $F_{r2} = 0,006$; для амилазы $F_{r3} = 0,59$ меньше табличного ($F_T = 7,7$) при числе степеней свободы $v_1 = 1$; $v_2 = 4$ и уровне значимости $q = 5\%$. Это свидетельствует об адекватности полученных математических представлений экспериментальным результатам. Уравнения регрессии имеют вид

$$Y_{\text{протеиназа}} = 0,42 + 0,22X_1 + 0,24X_2 + 0,38X_1 X_2,$$

$$Y_{\text{липаза}} = 238,4 + 29,1X_1 + 37,7X_2 - 3,8 X_1 X_2,$$

$$Y_{\text{амилаза}} = 28,6 + 7,6X_1 + 4,6X_2.$$

Анализ данных

Статистическая обработка материалов была выполнена стандартными методами вариационной статистики с применением программ Microsoft Office Excel 2010. Статистику данных осуществляли с использованием распределения Стьюдента при

уровне значимости $q = 5\%$ и числа степеней свободы $\nu = 4$.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований для культивирования микроорганизмов была вы-

брана среда состава, г/дм³: MgSO₄ – 0,05; K₂HPO₄ – 0,2; NaCl – 0,1; картофельный крахмал – 4,0; пептон – 1,6. Биосинтез консорциума микроорганизмов на этой среде достоверно увеличивал ферментативную активность биосуспензии (рис. 1).

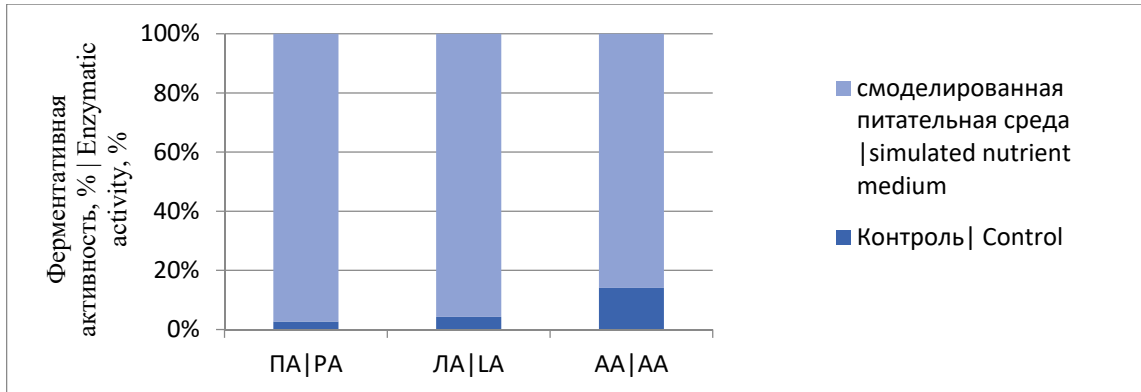


Рисунок 1. Влияние питательной среды на биосинтез ферментов
Figure 1. The effect of the nutrient medium on the biosynthesis of enzymes

Источник: собственные экспериментальные данные
Source: own experimental data

Протеолитическая активность возросла в 3 раза, липолитическая – на 32,8 %, амилолитическая – на 69,2 %. Но эффективность биологической очистки сточных вод, уровень ферментативной активности микроорганизмов активного ила зависит и от условий, в которых протекает очистка (количество вносимого консорциума микроорганизмов к

объему стока, температура, при которой проходила очистка, величина рН и др.) [20].

Воздействие температуры на эффективность очистки сточных вод исследовали в диапазоне 20–50 °С.

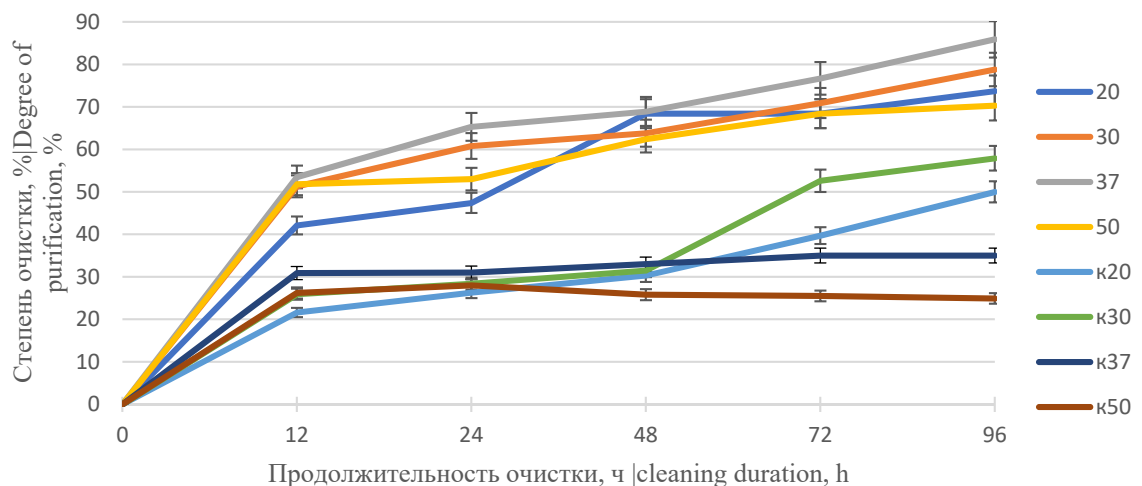


Рисунок 2. Влияние температуры на эффективность очистки сточных вод
Figure 2. The effect of temperature on the efficiency of wastewater treatment

Источник: собственные экспериментальные данные
Source: own experimental data

Из данных рис. 2 видно, что при всех температурах в образцах с консорциумом уже через 12 ч степень очистки вод достигала 42,1 – 53,5 %, в контрольных – всего 21,6–30,9 %. Через сутки в опытных образцах эффективность очистки при 37 °С была выше, чем при других температурах. Эта тенденция сохранялась на протяжении всего эксперимента и к 96 ч степень очистки при 37 °С была на 7,1 и 15,6 % выше, чем при температуре 30 °С и 50 °С. Возможно, это связано с тем, что ферментные системы консорциума имеют такой же температурный оптимум.

Концентрации вносимой биосуспензии на степень очистки сточных вод варьировали в интервале от 1 до 15 % к объему стока при температуре 37 °С (рис. 3). Остальные условия были такими же, как и при оценке температуры. Результаты эксперимента показали, что степень очистки стока находится в прямой зависимости от увеличения доли бактерий консорциума. Наиболее эффективно процесс очистки протекал при концентрациях 5, 10 и 15 %.

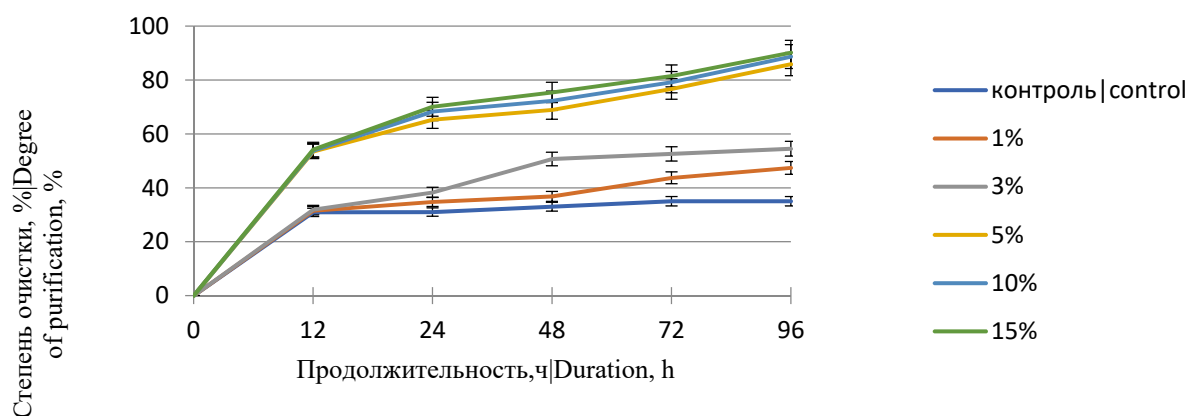


Рисунок 3. Влияние концентрации биосуспензии на эффективность очистки сточных вод

Figure 3. Effect of suspension concentration on wastewater treatment efficiency

Источник: собственные экспериментальные данные
Source: own experimental data

Исследование биодegradационных возможностей подобранной биологической суспензии в очистке сточных вод представлено на рис. 4. Следует отметить, что уже в первые 24 ч очистка стоков с внесением консорциума была выше, чем в контроле. Эта тенденция сохранялась на протяжении всего времени очистки. Оптимизация условий выращивания консорциума позволила снизить уро-

вень загрязнения сточных вод на 84,1 % в сравнении с контролем. Образующийся в ходе очистки осадок, благодаря модификации активного ила биокomпозицией подобранных микроорганизмов представлял собой продукт высокой биологической ценности (табл. 2): количество органического вещества увеличилось на 25,7 %, общий азот повысился в 1,7 раз, а углерод – на 5,2 %.

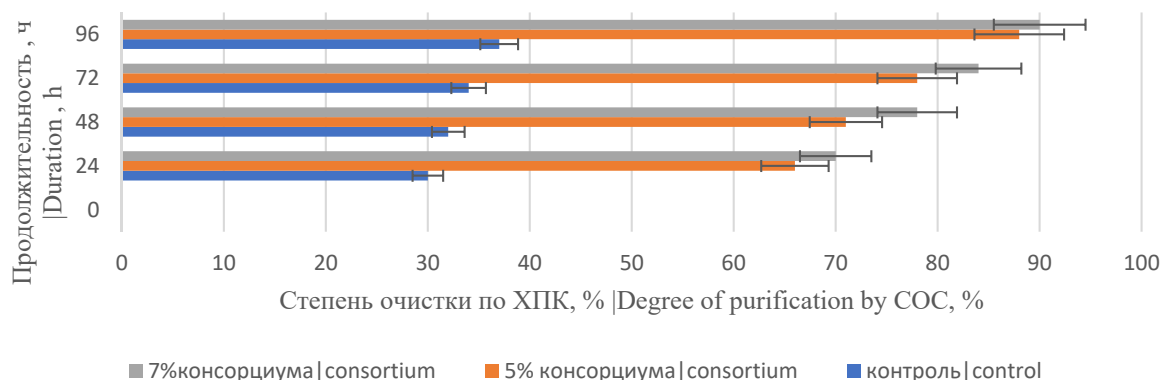


Рисунок 4. Динамика изменения ХПК
Figure 4. Dynamics of COD changes

Источник: собственные экспериментальные данные
Source: own experimental data

Таблица 2

Элементарный состав осадков сточных вод

Table 2

Elementary composition of sewage sludge

Показатели Indicators	Осадок сточных вод sewage sludge	Осадок сточных вод при использовании биологической суспензии sewage sludge when using biological suspension
Органическое вещество,% Organic matter,%	57,3	83,02
Общий азот, % Total nitrogen, %	2,69	4,5
Углерод, % Carbon, %	76,6	81,8

Источник: собственные экспериментальные данные
Source: own experimental data

Исходя из высокой питательной ценности опилок и осадка по органическому веществу были проведены исследования по их применению в качестве удобрения для роста и развития растений.

Эффективность действия органического удобрения определяется его влиянием на гумусообразование. Исследование последствий древесных опилок и ОСВ на гумусообразование представлено в табл. 3.

Таблица 3

Накопление органического вещества в почве (0-20см), %|

Table 3

Accumulation of organic matter in the soil (0-20 cm), %

Опыт Experience	Продолжительность, месяц (среднее ± СКО) Duration, month (Avg ± SD)				
	1	3	6	9	12
Контроль control	4,43±0,04	4,39±0,02	3,87±0,03	3,80±0,02	3,78±0,04
20 % ОСВ sewage sludge	6,32±0,02	6,67±0,01	6,70±0,03	6,71±0,01	6,70±0,01
20 % опилки sawdust	4,42±0,05	4,54±0,03	3,68±0,01	3,68±0,03	3,65±0,05

Опыт Experience	Продолжительность, месяц (среднее ± СКО) Duration, month (Avg ± SD)				
	1	3	6	9	12
5 % ОСВ sewage sludge + 15 % опилки sawdust	6,16±0,03	6,32±0,03	6,38±0,05	6,40±0,05	6,40±0,05
15 % ОСВ sewage sludge + 5 % опилки sawdust	6,35±0,05	6,51±0,01	6,62±0,03	6,65±0,02	6,65±0,04
10 % ОСВ sewage sludge + 10 % опилки sawdust	6,32±0,05	6,60±0,03	6,65±0,01	6,65±0,02	6,65±0,04

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Почвенные микроорганизмы контролируют процесс изменения органических веществ. Внесение древесных опилок, обогащенных ОСВ, повышает ферментативную активность почвы за счет увеличения количественного и качественного изменения состава микрофлоры. Во всех опытах, где в удобрении присутствует ОСВ, к 6 месяцам эксперимента отмечено активное накопление органического вещества и его дальнейшая стабилизация. В контрольном варианте и опыте с опилками наблюдается снижение гумусообразования к этому времени.

Видимо микроорганизмы ОСВ не только активизируют работу почвенных бактерий, но и ста-

билизируют формирование органической составляющей биокomпозиции.

Заключение

Проведенные исследования показали, что биологическая суспензия, в состав которой входит смесь живых клеток бактерий *Escherichia*, *Proteus*, *Staphylococcus*, *Azotobacter*, благодаря высокой способности к биодеструкции органических загрязнений, обогащает биокomпозит питательными веществами.

Полученный биокomпозит из древесных опилок и ОСВ обладает комплексом благоприятных для почвенных микроорганизмов и растений свойств, что позволяет улучшать структуру почвы и повышать ее плодородие.

Список литературы

- Графова Е. О., Сюнёв В. С., Горбач В. В. Анализ факторов негативного воздействия лесозаготовительного производства на природную среду Северо-Западного региона. Лесотехнический журнал. 2023; 2 (50): 5–24. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/1>. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54525077>.
- Антонов Г. И., Сорокин Н. Д., Барченков А. П., Кондакова О. Э. Оптимизация лесовыращивания с использованием биоконверсии древесно-опилочной массы в условиях Красноярской лесостепи. Лесоведение. 2018; 1: 56–64. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0024114818010059> – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32319244>.
- Семенов В. М., Паутова Н. Б., Лебедева Т. Н., Хромычкина Д. П., Семенова Н. А., Лопес де Гереню В. О. Разложение растительных остатков и формирование активного органического вещества в почве инкубационных экспериментов. Почвоведение. 2019; 10: 1172–1184. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19100113> – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39324165>.
- Миронов П. В., Алаудинова Е. В., Эназаров Р. Х., Саволайнен А. С. Микробиологическая конверсия отходов деревообработки с получением органических удобрений. Хвойные бореальной зоны. 2018; 36(3): 275–278. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36643087>.
- Боровков А. В. Перспективы применения вторичных древесных ресурсов для повышения почвенного плодородия лесных питомников и выращивания сеянцев хвойных пород в Казахстане. Лесозаготовительное производство: проблемы и решения. 2021; 35–40. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47694897>.

6. Liu C., Yan J., Huang Q. *et al.* The addition of sawdust reduced the emission of nitrous oxide in pig manure composting by altering the bacterial community structure and functions. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2022; 29: 3733–3742. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15786-2>.
7. Guo H., Gu J., Wang X., Yu J., Nasir M., Zhang K., Sun W. Microbial driven reduction of N₂O and NH₃ emissions during composting: effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar. *J Hazard Mater.* 2020; 390: 121292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121292>.
8. Zhan Y., Wei Y., Zhang Z. *et al.* Effects of different C/N ratios on the maturity and microbial quantity of composting with sesame meal and rice straw biochar. *Biochar*, 2021; 3: 557–564 DOI: <https://doi.org/10.1007/s42773-021-00110-5>.
9. Kebibeche H., Khelil O., Kacem M., Kaid Harche M. Addition of wood sawdust during the co-composting of sewage sludge and wheat straw influences seeds germination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019; 168: 423–430. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.075>.
10. Семенов М. В., Железова А. Д., Ксенофонтова Н. А., Иванова Е. А., Никитин Д. А. Куриный помет как органическое удобрение: технологии компостирования и влияние на почвенные свойства (обзор). *Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева.* 2023; 115: 160–198. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-115-160-198>. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54264716>.
11. Белаш М. Ю., Веприкова Е. В., Соболев А. А., Романов В. Н. Получение, свойства и ростостимулирующая активность гранулированных азотсодержащих органоминеральных удобрений на основе опилок осины. *Химия растительного сырья.* 2022; 4: 353–361. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220411955>. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50003021>.
12. Кравцова М. В., Чариков Ю. В., Волков Д. А., Мельникова Д. А., Постовитова Т. А., Кравцов М. В. Исследование осадков сточных вод для получения органоминерального удобрения. *Экология и промышленность России.* 2023; 27(4): 17–21. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-4-17-21>. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50494369>.
13. Yu J., Gu J., Wang X., Guo H., Wang J., Lei L., Dai X., Zhao W. Effects of inoculation with lignocellulose-degrading microorganisms on nitrogen conversion and denitrifying bacterial community during aerobic composting. *Bioresour Technol.* 2020; 313. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123664>.
14. Conthe M., Lycus P., Arntzen M.Ø., Ramos da Silva A., Frostegård Å., Bakken L.R., Kleerebezem R., van Loosdrecht M.C.M. Denitrification as an N₂O sink. *Water Res.* 2019; 151: 381–387. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.087>.
15. Phanwilai S., Kangwannarakul N., Noophan P. *et al.* Nitrogen removal efficiencies and microbial communities in full-scale IFAS and MBBR municipal wastewater treatment plants at high COD:N ratio. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2020; 115. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11783-020-1374-2>.
16. Guo J., Cong Q., Zhang L., Meng L., Ma F., Zhang J. Exploring the linkage between bacterial community composition and nitrous oxide emission under varied DO levels through the alternation of aeration rates in a lab-scale anoxic-oxic reactor. *Bioresour Technol.* 2019; 291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121809>.
17. Абузов А. В., Дахова Е. В., Шевчук А. С. Возможность использования отходов лесной промышленности для создания биоудобрений. *Инженерный вестник Дона*, 2023: 272–282. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54724897>.
18. Патент № 2 701 942 Российская Федерация, МПК C05F 11/08(2006.01). Способ утилизации древесных опилок с применением композиции дереворазрушающих микроорганизмов для получения комплексного органоминерального удобрения. 2019103074: заявл. 05.02.2019: опубл. 02.10.2019// Беловежец Л.А. – 8 с. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41276405>.
19. Мягкова А. С., Третьякова А. В., Песцов Г. В. Утилизация древесины с помощью грибов-биодеструкторов. *Матер. науч. конференции научно-педагогических работников, аспирантов, магистрантов ТГПУ им. Л.Н. Толстого. Тула*, 2021: 182–185. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47776798>.

20. Пашкевич М. А., Коротаева А. Э. Анализ биологических методов для очистки карьерных сточных вод от азотных соединений. Геология и геофизика юга России. 2021; 11(4): 170–182. DOI: <https://doi.org/10.46698/VNC.2021.87.18.014>. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47558335>

References

1. Grafova E. O., Syunev V. S., Gorbach V. V. Analiz faktorov negativnogo vozdeistviya lesozagotovitel'nogo proizvodstva na prirodnyuyu sredu Severo-Zapadnogo regiona. [Analysis of factors of the negative impact of logging production on the natural environment of the North-Western region]. Lesotekhnicheskii zhurnal = Forestry magazine. 2023; 2 (50): 5–24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/1>. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54525077>.

2. Antonov G. I., Sorokin N. D., Barchenkov A. P., Kondakova O. E. Optimizatsiya lesovyrashchivaniya s ispol'zovaniem biokonversii drevesno-opilochnoj massy v usloviyah Krasnoyarskoj lesostepi. [Optimization of forest cultivation using bioconversion of sawdust in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe]. Lesovedenie = Forest Science. 2018; 1: 56–64. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0024114818010059>. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32319244>.

3. Semenov V. M., Pautova N. B., Lebedeva T. N., Hromychkina D. P., Semenova N. A., Lopes de Gerenyu V. O. Razlozhenie rastitel'nyh ostatkov i formirovanie aktivnogo organicheskogo veshchestva v pochve inkubatsionnykh eksperimentov. [Decomposition of plant residues and formation of active organic matter in the soil of incubation experiments]. Pochvovedenie = Soil science. 2019; 10: 1172–1184. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19100113>. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39324165>.

4. Mironov P. V., Alaudinova E. V., Enazarov R. H., Savolajnen A. S. Mikrobiologicheskaya konversiya othodov derevoobrabotki s polucheniem organicheskikh udobrenij. [Microbiological conversion of woodworking waste to produce organic fertilizers.]. Hvojnye boreal'noj zony = Conifers of the boreal zone. 2018; 36(3): 275–278. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36643087>.

5. Borovkov A. V. Perspektivy primeneniya vtorichnyh drevesnyh resursov dlya povysheniya pochvennogo plodorodiya lesnykh pitomnikov i vyrashchivaniya seyancev hvojnykh porod v Kazahstane. [Prospects for the use of secondary wood resources to increase the soil fertility of forest nurseries and the cultivation of coniferous seedlings in Kazakhstan]. Lesozagotovitel'noe proizvodstvo: problemy i resheniya = Logging production: problems and solutions. 2021: 35–40. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47694897>.

6. Liu C., Yan J., Huang Q. et al. The addition of sawdust reduced the emission of nitrous oxide in pig manure composting by altering the bacterial community structure and functions. EnvironSciPollut Res. 2022; 29: 3733–3742. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15786-2>.

7. Guo H., Gu J., Wang X., Yu J., Nasir M., Zhang K., Sun W. Microbial driven reduction of N₂O and NH₃ emissions during composting: effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar. J Hazard Mater. 2020; 390: 121292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121292>.

8. Zhan Y., Wei Y., Zhang Z. et al. Effects of different C/N ratios on the maturity and microbial quantity of composting with sesame meal and rice straw biochar. Biochar, 2021; 3: 557–564 DOI: <https://doi.org/10.1007/s42773-021-00110-5>.

9. Kebibeche H., Khelil O., Kacem M., Kaid Harche M. Addition of wood sawdust during the co-composting of sewage sludge and wheat straw influences seeds germination. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019; 168: 423–430. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.075>.

10. Semenov M. V., ZHelezova A. D., Ksenofontova N. A., Ivanova E. A., Nikitin D. A. Kurinyj pomet kak organicheskoe udobrenie: tekhnologii kompostirovaniya i vliyanie na pochvennye svoystva (obzor). [Chicken manure as organic fertilizer: composting technologies and impact on soil properties (review)]. Byulleten' pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva = Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute. 2023; 115: 160–198. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-115-160-198>. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54264716>.

11. Belash M. Yu., Veprikova E. V., Sobolev A. A., Romanov V. N. Poluchenie, svoystva i rostostimuliruyushchaya aktivnost' granulirovannykh azotsoderzhashchih organo-mineral'nykh udobrenij na osnove opilok osiny. [Preparation, properties and growth-stimulating activity of granular nitrogen-containing organo-mineral fertilizers based on aspen sawdust]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw materials. 2022; 4: 353–361. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220411955>. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50003021>.
12. Kravcova M. V., CHarikov YU. V., Volkov D. A., Mel'nikova D. A., Postovitova T. A., Kravcov M. V. Issledovanie osadkov stochnykh vod dlya polucheniya organomineral'nogo udobreniya. [Study of sewage sludge to obtain organomineral fertilizer]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* = Ecology and industry of Russia. 2023; 27(4): 17–21. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2023-4-17-21>. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50494369>.
13. Yu J., Gu J., Wang X., Guo H., Wang J., Lei L., Dai X., Zhao W. Effects of inoculation with lignocellulose-degrading microorganisms on nitrogen conversion and denitrifying bacterial community during aerobic composting. *Bioresour Technol.* 2020; 313:123664. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123664>.
14. Conthe M., Lycus P., Arntzen M.Ø., Ramos da Silva A., Frostegård Å., Bakken L. R., Kleerebezem R., van Loosdrecht M.C.M. Denitrification as an N₂O sink. *Water Res.* 2019; 151: 381–387. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.087>.
15. Phanwilai S., Kangwannarakul N., Noophan P. et al. Nitrogen removal efficiencies and microbial communities in full-scale IFAS and MBBR municipal wastewater treatment plants at high COD:N ratio. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2020; 115. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11783-020-1374-2>
16. Guo J., Cong Q., Zhang L., Meng L., Ma F., Zhang J. Exploring the linkage between bacterial community composition and nitrous oxide emission under varied DO levels through the alternation of aeration rates in a lab-scale anoxic-oxic reactor. *Bioresour Technol.* 2019; 291: 121809. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121809>.
17. Abuzov A. V., Dahova E. V., Shevchuk A. S. Vozmozhnost' ispol'zovaniya othodov lesnoj promyshlennosti dlya sozdaniya bioudobrenij. [The use of waste from the forest industry to create biofertilizers]. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2023; 272–282. (In Russ.). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54724897>.
18. Patent № 2 701 942 Rossijskaya Federaciya, MPK C05F 11/08(2006.01). Sposob utilizacii drevesnykh opilok s primeneniem kompozicii derevorazrushayushchih mikroorganizmov dlya polucheniya kompleksnogo organomineral'nogo udobreniya. [A method for the disposal of sawdust using a composition of wood-destroying microorganisms to obtain a complex organomineral fertilizer.]. 2019103074: zayavl. 05.02.2019: opubl. 02.10.2019// *Belovezhec L.A.* – 8s. (In Russ.). – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41276405>.
19. Myagkova A. S., Tret'yakova A. V., Pestsov G. V. Utilizatsiya drevesiny s pomoshch'yu gribov-biodestruktorov. [Wood recycling using biodestructor mushrooms]. *Materialy nauchnoi konferentsii nauchno-pedagogicheskikh rabotnikov, aspirantov, magistrantov TGPU im. L.N. Tolstogo. Tula*, 2021: 182–185. (In Russ.). – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47776798>.
20. Pashkevich M. A., Korotaeva A. E. Analiz biologicheskikh metodov dlya ochistki kar'ernykh stochnykh vod ot azotnykh soedinenij. [Analysis of biological methods for the treatment of quarry wastewater from nitrogen compounds]. *Geologiya i geofizika yuga Rossii* = Geology and Geophysics of the South of Russia. 2021; 11(4): 170–182. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.46698/VNC.2021.87.18.014>. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47558335>.

Сведения об авторах

✉ *Брындина Лариса Васильевна* – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лаборатории промышленных биотехнологий НИИ ИТЛК, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-2345-6789>, e-mail: bryndinv@mail.ru.

Корчагина Анна Юрьевна – младший научный сотрудник лаборатории промышленных биотехнологий, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-2345-6789>, e-mail: korchaginav@mail.ru.

зева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0009-0007-2168-1211>, e-mail: nuta10011@yandex.ru.

Zoran Govedar – профессор Факультета лесного хозяйства Университета Банья Лука, доктор наук, Банья Лука, Босния и Герцеговина, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9791-4113>, e-mail: zoran.govedar@sf.unibl.org.

Information about the authors

✉ *Bryndina Larisa Vasilievna* – Dr. Sci. (Agric.), Chief Researcher of the Laboratory of Industrial Biotechnologies, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-2345-6789>, e-mail: bryndinv@mail.ru.

Korchagina Anna Yuryevna – Junior Researcher at the Laboratory of Industrial Biotechnologies, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2168-1211>, e-mail: nuta10011@yandex.ru.

Zoran Govedar – Doctor of Forestry Sciences, Full professor, Correspondence member of Academy of Science and Arts of the Republic of Srpska, Department of Silviculture, Faculty of Forestry Banja Luka, Academy of Science and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Republic of Srpska/Bosnia and Herzegovina, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9791-4113>, e-mail: zoran.govedar@sf.unibl.org.

✉ – Для контактов | Corresponding author