

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ / FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY,
LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.53.2>

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОМИЦЕТОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Научная статья

Жебо А.В.^{1,*}, Дахова Е.В.², Бархатова О.А.³

¹ORCID : 0000-0003-3142-2188;

^{1,2,3}Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (zhebo.av[at]yandex.ru)

Аннотация

В последние десятилетия проблема утилизации древесных отходов становится все более актуальной в связи с ростом лесозаготовок и деревообработки. Данная статья посвящена исследованию возможностей использования грибов, способных эффективно разлагать целлюлозу и лигнин для переработки древесных отходов. В статье проанализирована активность смеси грибов *Acremonium sp.*, *Phanerochaete sp.*, *Sporotrichum pulverulentum*, *Trametes versicolor* (трутовик) для биодеструкции древесных отходов в лесозаготовительных и лесоперерабатывающих производствах в условиях Хабаровского края для снижения экологической нагрузки на территории и получения органического субстрата, который может использоваться как основа для органических удобрений. В статье обсуждаются экологические аспекты применения грибов, подчеркивая их роль в развитии и охране окружающей среды. В заключении предлагаются рекомендации по внедрению технологий на основе биоконверсии в практику переработки древесных отходов и получения удобрений.

Ключевые слова: биокomпостирование, лесозаготовка, древесные отходы, биоудобрение, микромицеты, микроскопические грибы.

ON THE USE OF MICROMYCETES FOR WOOD WASTE PROCESSING

Research article

Zhebo A.V.^{1,*}, Dahova E.V.², Barkhatova O.A.³

¹ORCID : 0000-0003-3142-2188;

^{1,2,3}Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

* Corresponding author (zhebo.av[at]yandex.ru)

Abstract

In recent decades, the problem of wood waste utilization has become more and more urgent due to the growth of logging and wood processing. This article is dedicated to the study of the possibilities of using fungi capable of effectively decomposing cellulose and lignin for wood waste recycling. The paper analyses the activity of a mixture of *Acremonium sp.*, *Phanerochaete sp.*, *Sporotrichum pulverulentum*, *Trametes versicolor* (polypore) fungi for biodegradation of wood waste in logging and wood processing industries in the conditions of Khabarovsk Krai to reduce the ecological load on the territory and to obtain an organic substrate that can be used as a basis for organic fertilizers. The work discusses ecological aspects of mushroom application, emphasising their role in development and environmental protection. The conclusion offers recommendations for the introduction of bioconversion-based technologies in the practice of wood waste processing and fertilizer production.

Keywords: biocomposting, logging, wood waste, biofertilizer, micro-mycetes, microscopic fungi.

Введение

На территории Дальневосточного федерального округа (ДФО) сосредоточена практически половина лесов Российской Федерации, при этом на долю эксплуатационного лесного фонда распределяется порядка 50%, вторая половина относится к защитным, заповедным, низкополнотным, притундровым и резервным лесам, что обусловлено рядом природных и нормативно-правовых факторов. Леса Дальнего Востока представлены преимущественно хвойными породами, доминирующую роль выполняют лиственничники. На юге региона имеются сложносоставные леса с преобладанием дуба монгольского, липы амурской, ясеня маньчжурского. Что также дает основные запасы дубовых лесов России – около 80%.

Лесистость территории крайне неравномерная, обусловлена климатическими факторами, особенностью рельефа и почвенного состава.

Основные объемы заготовки древесины фиксируются в трех лесных районах – Дальневосточном таежном (большую часть которого занимает Хабаровский край), Приамурско-Приморском хвойно-широколиственном (в него входят южные районы Хабаровского края) и Байкальском горном и составляют около 12 млн. м³/год [1].

Лесистость территории Хабаровского края в 2023 году составила 66,6% [2], ежегодные объемы заготовки древесины около 6,5 млн. м³, что составляет 37% от объема заготовленной древесины ДФО [3], [4].

Особенность территории размещения предприятий лесозаготовки и лесопереработки в крае, объемы и мощности производства, рыночные и правовые отношения – являются маркерами экономической целесообразности и экологического благополучия действия производства.

Учитывая рынок предприятий, высокую долю имеют представители малого и среднего бизнеса, в свою очередь обладающие определенными рисками. Исходя из этого, удобным вариантом предприятия является его узкая локализация на местности, включающая максимальное количество действий с сырьем, продуктами и отходами производства. Последние, в свою очередь, часто создают ряд трудностей с экономической, правовой и экологической стороны. Варианты обращения с отходами многократно рассматриваются отечественными и зарубежными авторами [5], [6], [7], [9], [10].

Предприятия лесного комплекса накапливают значительное количество отходов – щепы, опилок, стружки, веток и др., которые часто остаются не утилизируемыми, что приводит к загрязнению окружающей среды, увеличению выбросов углерода и негативному воздействию на экосистемы. Переработка древесных отходов позволяет извлекать дополнительную прибыль из материала и производить продукт с высокой добавленной стоимостью – древесные плиты, биомассу для энергетики, биоуголь или компост. Наиболее эффективными будут технологии, не требующие сложного технологического процесса и дорогостоящего оборудования, например, биокомпостирование с получением удобрений, повышающих эффективность лесовосстановления и выращивания сельскохозяйственных культур.

Существует несколько методов биокомпостирования древесных отходов: смешивание с органическими материалами, анаэробное разложение, термофильное компостирование, вермикомпостирование, биодинамическое компостирование, компостирование с использованием микробных добавок и др. Исходя из практических условий реализации эксперимента – без создания искусственно-регулируемых параметров в естественной среде в местах скопления отходов нами был выбран способ микробиологической переработки с получением комплексного органоминерального удобрения. Технология разработана и запатентована группой ученых ФГБУН Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН [11]. Далее технология была апробирована на древесных отходах смешанного состава с преобладанием хвойных пород, полученных в Ванинском районе Хабаровского края.

Основные результаты

Ключевые моменты и особенности способа утилизации представлены схемами (рисунок 1, 2) [8], [11].

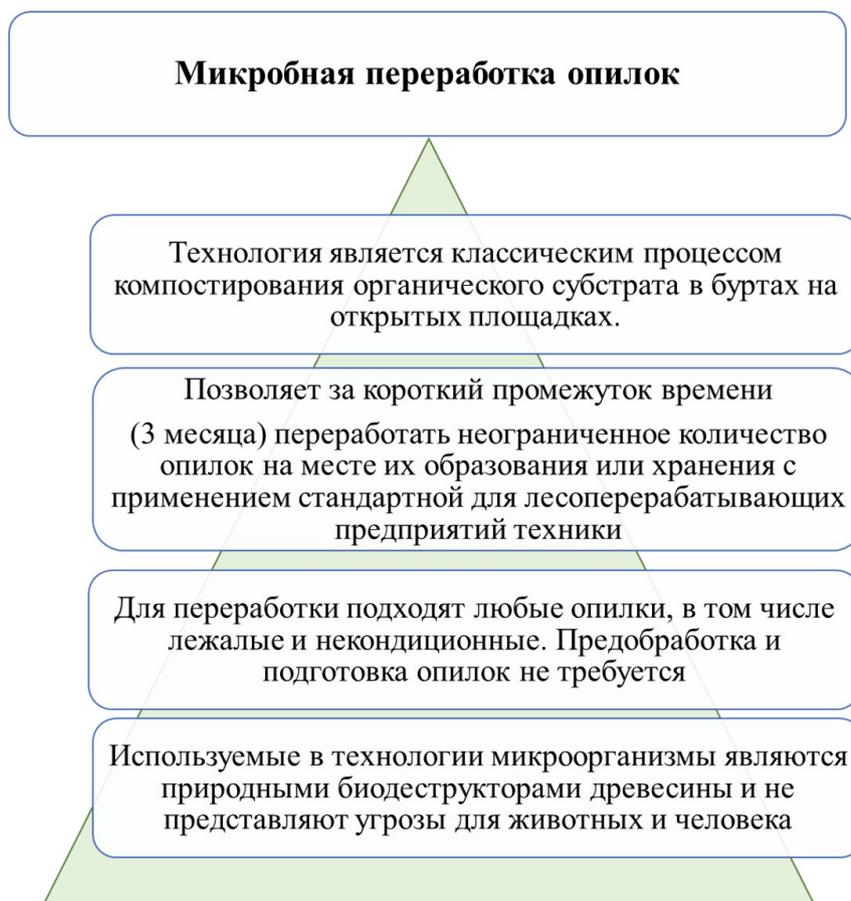


Рисунок 1 - Достоинства микробной переработки опилок с применением грибов биодеструкторов
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.53.2.1>



Рисунок 2 - Основные достоинства способа утилизации древесных опилок с применением композиции дереворазрушающих микроорганизмов для получения комплексного органико-минерального удобрения
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.53.2.2>

Предложенный способ показывает высокую эффективность, в лучшую сторону отличается от предложенных ранее способов ускоренного компостирования [12].

Схема биодеструкция древесины грибами представлена на рисунке 3 [8].



Рисунок 3 - Этапы заселения древесины грибами-деструкторами
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.53.2.3>

Ксилотрофные грибы способны развиваться на субстратах, богатых углеродом, растут на ослабленных деревьях и являются активными деструкторами. Они включают разнообразные виды из различных систематических групп: *Ascomycota*, *Deuteromycota*, *Basidiomycota*. Экологическая разнообразность ксилотрофов связана с их обитанием на древесине разной степени разложения и продуктах её биологического распада, образуя узкоспециализированные

группы (бурая гниль, белая гниль, мягкая гниль, смешанная гниль и другие). Основную роль в разложении лигноцеллюлозного комплекса растений играют ксилотрофные базидиальные грибы благодаря их широкому спектру специфических окислительных ферментов, что позволяет им успешно колонизировать древесные субстраты. Ведущая роль в природных экосистемах принадлежит афиллофоровым грибам – более 50% известных дереворазрушающих грибов. По ряду работ установлено, что грибы белой гнили разлагают целлюлозу быстрее, чем лигнин, что приводит к изменению цвета древесины на более светлый, древесина становится более легкой и хрупкой. Грибы бурой гнили проявляют высокую активность при разложении лигнина и целлюлозы, в результате древесина темнеет, теряет прочность и становится ломкой [12], [13], (рисунок 4) Эти свойства белой и бурой гнили делают их наиболее перспективными при потенциальном использовании в переработки отходов хвойных пород.

Был проведен эксперимент по биоконверсии древесных отходов мелкой фракции (опилки, стружка в примерном объемном соотношении 7:1), полученных на лесозаготовительном участке в Ванинском районе Хабаровского края, в составе преобладают хвойные породы (лиственница и сосна). Использовалась ассоциация микроорганизмов (*Acremonium sp.*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor*, *Phanerochaete chrysosporium Burds.*, *Sporotrichum pulverulentum*), предоставленная учеными ФГБУН Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН.

Схема эксперимента в лабораторных условиях соответствовала технологии описанной в патенте № 2701942 (пример 2).

Обсуждение

По результатам эксперимента, в завершении периода конверсии был исследован состав полученного субстрата (таблица 1).

Таблица 1 - Физико-химические показатели субстрата после биоконверсии

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.53.2.4>

Наименование показателя	Ед. изм.	Результат	Нормативный документ на метод испытаний
Активная кислотность рН	ед. рН	7,9	ГОСТ 11623-89
Ёмкость катионного обмена	мг-экв/100г	40	ГОСТ 17.4.4.01-84
Массовая доля влаги	%	53,7	ГОСТ 26713-85
Массовая доля органического вещества	%	11,4	ГОСТ 27980-88
Общий азот	%	0,5	ГОСТ 26751-85
Массовая доля общего калия	%	0,14 (на сухой продукт)	ГОСТ 26718-85
Массовая доля общего фосфора (в пересчете на P ₂ O ₅)	%	0,22 (на продукт с исходной влажностью)	ГОСТ 26712-94
Зола	%	24,0	
Массовая доля азота аммиачного	мг/100г	менее 10,0	ГОСТ 27894.3-88
Массовая доля азота нитратного	мг/100г	менее 1,15	ГОСТ 27894.4-88
Массовая доля общего калия	%	0,06 (на продукт с исходной влажностью)	ГОСТ 26712-94

Таким образом, из таблицы 1 видно, что в процессе обработки опилок ассоциацией микроорганизмов компост обогащается основными питательными элементами, большая часть которых находится в усваиваемой растениями форме. Результат применения ассоциации микроорганизмов на древесных отходах хвойных пород деревьев, показал, что при достаточном внесении дополнительного источника азота для питания микроорганизмов можно получить субстрат с благоприятным составом для использования в качестве удобрения. Далее необходимо протестировать полученный субстрат на сельскохозяйственных культурах с целью установления влияния роста и развития растений.

Заключение

Разрушение древесины под действием микромицетов существенно изменяет ее свойства: с увеличением степени разложения повышается влагоемкость [13], что является важным свойством для почвенно-биологических комплексов с включением переработанных древесных отходов. Кроме того, морфологические изменения клеточных структур и физико-химических свойств древесины, подвергшейся воздействию ферментов микромицетов белой гнили, например,

увеличение площади поверхности, и как показывают исследователи [13] древесина, пораженная грибами белой гнили может быть использована в качестве носителя сорбционных систем с высокоразвитой поверхностью и стать основой для создания органических субстратов с заданными свойствами для повышения плодородия и урожайности конкретных сельско-хозяйственных культур в Хабаровском крае, где преобладают дерново-подзолистые почвы.

Разработка технологии биодеструкции имеет особую ценность для территории Хабаровского края, где только на лесозаготовительных и деревоперерабатывающих предприятиях каждый год образуется от 1,2 до 1,5 млн. тонн отходов древесной биомассы, которые отрицательно влияют на экологическую и пожарную обстановку в регионе. При этом природная ограниченность почвы по плодородному слою и питательным веществам требует поиска локальных решений. Как показывают исследования, древесные отходы являются потенциальным сырьем для производства органических биоудобрений, востребованных как на внутреннем, так и на внешнем рынке производителей сельскохозяйственной продукции.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Лашина Е.В. Эксплуатационные особенности лесов Дальнего Востока / Е.В. Лашина // Сибирский лесной журнал. — 2023. — № 2. — С. 56-64. — DOI: 10.15372/SJFS20230207. — EDN VJLYSO.
2. Об утверждении лесного плана Хабаровского края на 2019-2028 годы : постановление Губернатора Хабаровского края от 31 января 2019 года N 5. — Хабаровск, 2019. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/465358059> (дата обращения: 30.06.2024).
3. Хабаровский край: Стат. ежегодник / Хабаровскстат. — Хабаровск, 2023. — 185 с. — URL: <https://27.rosstat.gov.ru/folder/66942> (дата обращения: 30.06.2024).
4. Обзор лесозаготовки на Дальнем Востоке. — Москва, 2022. — URL: <https://vostokgosplan.ru/wp-content/uploads/obzor-lesozagotvki-na-dalнем-vostoke.pdf> (дата обращения: 30.06.2024).
5. Абузов А.В. Возможность использования отходов лесной промышленности для создания биоудобрений / А.В. Абузов, Е.В. Дахова, А.С. Шевчук // Инженерный вестник Дона. — 2023. — № 8 (104). — С. 272–282. — EDN HGMUTX.
6. Костылева С.В. Экономические и экологические аспекты комплексного использования отходов лесопереработки (на примере Иркутской области) / С.В. Костылева // Вестник ОмГУ. Серия: Экономика. — 2016. — № 3. — С. 184–193. — EDN WXTGGN.
7. Oladejo O.S. Production of Bio Fertilizer from Rice Waste, Cow Dung and Timber Sawdust / O.S. Oladejo, A.B. Fasan // International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences. — 2015. — № 3. — P. 96–102.
8. Беловежец Л.А. Перспективные способы переработки вторичного лигноцеллюлозного сырья / Л.А. Беловежец, И.В. Волчатова, С.А. Медведева // Химия растительного сырья. — 2010. — № 2. — С. 5–16. — EDN LLZVJV.
9. Лихачева А.В. Способы обращения с отходами лесозаготовки / А.В. Лихачева, З.М. Меметкулыев // Химическая технология и техника : материалы 87-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов. — Минск : БГТУ, 2023. — С. 355–357. — EDN АТЕНJU.
10. Володин В.В. Тенденции в развитии методов утилизации коры и кородревесных отходов длительного хранения (обзор) / В.В. Володин, А.А. Шубаков, С.О. Володина [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. — 2022. — Т. 23. — № 5. — С. 611–632. — DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.611-632.
11. Беловежец Л.А. Способ утилизации древесных опилок с применением композиции дереворазрушающих микроорганизмов для получения комплексного органо-минерального удобрения : пат. 2701942 РФ, МПК51 C05F 11/08 / Л.А. Беловежец; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН. — № 2019103074; заявл. 2019-02-05; опубл. 2019-10-02. — № 2019103074. — EDN LRVGYL.
12. Опилки – в удобрения: новая разработка сибирских ученых // Сетевое издание «SectorMedia». — 2021. — URL: <https://sectormedia.ru/news/tekhnologii/unikalnuyu-tekhnologiyu-pererabotki-drevesnykh-otkhodov-predlozhili-v-sibiri/> (дата обращения: 30.06.2024).
13. Кононов Г.Н. Миколиз древесины, его продукты и их использование. II. Биолого-морфологические процессы микологического разрушения древесины / Г.Н. Кононов, А.Н. Вережкин, Ю.В. Сердюкова [и др.] // Вестник МГУЛ — Лесной вестник. — 2020. — Т. 24. — № 5. — С. 89–96. — DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-89-96.
14. Кононов Г.Н. Миколиз древесины, его продукты и их использование. I. Экологические аспекты микологического разрушения древесины / Г.Н. Кононов, А.Н. Вережкин, Ю.В. Сердюкова [и др.] // Лесной вестник. — 2020. — Т. 24. — № 2. — С. 81–87. — DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-81-87. — EDN SOTECW.
15. Вережкин А.Н. Биодegradация древесины ферментными комплексами дереворазрушающих грибов / А.Н. Вережкин, Г.Н. Кононов, Ю.В. Сердюкова [и др.] // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. — 2019. — Т. 23. — С. 95–100. — DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-95-100. — EDN XCVEQX.

16. Веприкова Е.В. Получение органоминеральных удобрений на основе древесной коры (обзор) / Е.В. Веприкова, С.А. Кузнецова, Н.В. Чесноков [и др.] // Журнал СФУ. Химия. — 2016. — Т. 9. — № 4. — С. 414–429. — DOI: 10.17516/1998-2836-2016-9-4-414-429. — EDN YGSNWV.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Lashina E.V. Jeksplyuatacionnye osobennosti lesov Dal'nego Vostoka [Operational features of the Far East forestst] / E.V. Lashina // Sibirskij lesnoj zhurnal [Siberian Journal of Forest Science]. — 2023. — № 2. — P. 56–64. — DOI: 10.15372/SJFS20230207. — EDN VJLYSO. [in Russian]
2. Ob utverzhdenii lesnogo plana Habarovskogo kraja na 2019-2028 gody [On approval of the Khabarovsk Territory Forest Plan for 2019-2028] : resolution of the Governor of the Khabarovsk Territory dated January 31, 2019 No. 5. — Khabarovsk, 2019. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/465358059> (accessed: 30.06.2024). [in Russian]
3. Habarovskij kraj [Khabarovsk Territory] : statistical yearbook / Khabarovsk Statistics. — Khabarovsk, 2023. — 185 p. — URL: <https://27.rosstat.gov.ru/folder/66942> (accessed: 30.06.2024). [in Russian]
4. Obzor lesozagotovki na Dal'nem Vostoke [An overview of logging in the Far East]. — Moscow, 2022. — URL: <https://vostokgosplan.ru/wp-content/uploads/obzor-lesozagotovki-na-dalnem-vostoke.pdf> (accessed: 30.06.2024). [in Russian]
5. Abuzov A.V. Vozmozhnost' ispol'zovaniya othodov lesnoj promyshlennosti dlja sozdaniya bioudobrenij [The possibility of using forest industry waste to create biofertilizers] / A.V. Abuzov, E.V. Dahova, A.S. Shevchuk // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Journal of Don]. — 2023. — № 8 (104). — P. 272–282. — EDN HGMUTX. [in Russian]
6. Kostyleva S.V. Jekonomicheskie i jekologicheskie aspekty kompleksnogo ispol'zovaniya othodov lesopererabotki (na primere Irkutskoj oblasti) [Economic and environmental aspects of integrated use of forest products waste (on the example of the Irkutsk region)] / S.V. Kostyleva // Vestnik OmGU. Serija: Jekonomika [OmSU Bulletin. Series: Economics]. — 2016. № 3. — P. 184–193. — EDN WXTGGN. [in Russian]
7. Oladejo O.S. Production of Bio Fertilizer from Rice Waste, Cow Dung and Timber Sawdust / O.S. Oladejo, A.B. Fasan // International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences. — 2015. — № 3. — P. 96–102.
8. Belovezhets L.A. Perspektivnye sposoby pererabotki vtornichnogo lignocelluloznogo syr'ja [Promising methods of processing secondary lignocellulose raw materials] / L.A. Belovezhets, I.V. Volchatova, S.A. Medvedeva // Himija rastitel'nogo syr'ja [Chemistry of Plant Raw Material]. — 2010. — № 2. — С. 5–16. — EDN LLZVJV. [in Russian]
9. Likhacheva A.V. Sposoby obrashhenija s othodami lesozagotovki [Methods of logging waste management] / A.V. Likhacheva, Z.M. Memetkulyev // Himicheskaja tehnologija i tehnika [Chemical Technology and Engineering] : materials of the 87th Scientific and Technical Conference of Faculty, Researchers and Graduate Students. — Minsk : BSTU, 2023. — P. 355–357. — EDN ATEHJU. [in Russian]
10. Volodin V.V. Tendencii v razvitii metodov utilizacii kory i korodrevesnyh othodov dlitel'nogo hranenija (obzor) [Trends in the development of methods of disposal of bark. and bark-wood waste of long-term storage (review)] / V.V. Volodin, A.A. Shubakov, S.O. Volodina [et al.] // Agrarnaja nauka Evro-Severo-Vostoka [Agrarian Science of the Euro-North-East]. — 2022. — Vol. 23.—№ 5. — P. 611–632. — DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.611-632. [in Russian]
11. Belovezhets L.A. Sposob utilizacii drevesnyh opilok s primeneniem kompozicii derevorazrushajushhih mikroorganizmov dlja poluchenija kompleksnogo organo-mineral'nogo udobrenija [Method of recycling wood shavings using a wood-destroying microorganisms composition to produce complex organo-mineral fertilizer] : patent 2701942 RF, IPC C05F51 11/08 / L.A. Belovezhets; the applicant and the patentee Federal State Budgetary Institution of Science Irkutsk Institute of Chemistry named after A.E. Favorsky SB RAS. — № 2019103074; appl. 2019-02-05; publ. 2019-10-02. — № 2019103074. — EDN LRVGYL. [in Russian]
12. Opilki – v udobrenija: novaja razrabotka sibirskih uchenyh [Sawdust into fertilizers: a new development by Siberian scientists] // Setevoe izdanie "SectorMedia" [Online publication SectorMedia]. — 2021. — URL: <https://sectormedia.ru/news/tehnologii/unikalnuyu-tehnologiyu-pererabotki-drevesnykh-otkhodov-predlozhili-v-sibiri/> (accessed: 30.06.2024). [in Russian]
13. Kononov G.N. Mikoliz drevesiny, ego produkty i ih ispol'zovanie. II. Biologo-morfologicheskie processy mikologicheskogo razrushenija drevesiny [Mycolysis of wood, its products and their use. II. Biological and morphological processes of mycological destruction of wood] / G.N. Kononov, A.N.Verevkin, Yu.V. Serdyukova [et al.] // Vestnik MGUL — Lesnoj vestnik [Bulletin of MGUL — Forestry Bulletin]. — 2020. — Vol. 24. — № 5. — P. 89–96. — DOI: 10.18698/2542-1468-2020-5-89-96. [in Russian]
14. Kononov G.N. Mikoliz drevesiny, ego produkty i ih ispol'zovanie. I. Jekologicheskie aspekty mikologicheskogo razrushenija drevesiny [Wood mycolysis, its products and their use. I. ecological aspects of mycological wood destruction] / G.N. Kononov, A.N.Verevkin, Yu.V. Serdyukova [et al.] // Lesnoj vestnik [Forestry Bulletin]. — 2020. — Vol. 24. — № 2. — P. 81–87. — DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-81-87. — EDN SOTECW. [in Russian]
15. Verevkin A.N. Biodegradacija drevesiny fermentnymi kompleksami derevorazrushajushhih gribov [Biodegradation of wood by wood-destroying fungi enzyme complexes] / A.N. Verevkin, G.N. Kononov, Yu.V. Serdyukova [et al.] // Vestnik MGUL — Lesnoj vestnik [Bulletin of MGUL – Forestry Bulletin]. — 2019. — Vol. 23. — С. 95–100. — DOI: 10.18698/2542-1468-2019-5-95-100. — EDN XCVEQX. [in Russian]
16. Veprikova E.V. Poluchenie organomineral'nyh udobrenij na osnove drevesnoj kory (obzor) [Obtaining of organomineral fertilizers on the basis of wood bark (review)] / E.V. Veprikova, S.A. Kuznetsova, N.V. Chesnokov [et al.] // Zhurnal SFU. Himija [SibFU Journal. Chemistry]. — 2016. — Vol. 9. — № 4. — С. 414–429. — DOI: 10.17516/1998-2836-2016-9-4-414-429. — EDN YGSNWV. [in Russian]