

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.1>**О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ БИОКОМПСТИРОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ В УСЛОВИЯХ ХАБАРОВСКОГО КРАЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УДОБРЕНИЙ**

Научная статья

Жебо А.В.^{1,*}, Дахова Е.В.², Бархагова О.А.³¹ ORCID : 0000-0003-3142-2188;^{1,2,3} Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

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

Аннотация

В статье был рассмотрен метод микробиологического компостирования древесных отходов лесопиления. Проанализирована целесообразность применения данных технологий для лесной промышленности Хабаровского края при учете больших объемов лесозаготовки с высокой степенью образования отходов, особенностей местных почв. Проведен анализ существующих технологий биокomпостирования, успешно внедренных в западной части России и за рубежом для получения субстрата, который можно использовать в рекультивации и восстановлении истощенных земель, с целью повышения урожайности в регионах со сложными климатическими условиями, для возделывания сельскохозяйственных культур. Разработка решения переработки отходов лесной промышленности в Хабаровском крае является перспективным для лесного комплекса и сельскохозяйственных предприятий.

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

ON THE PROSPECTS OF APPLICATION OF WOOD WASTE BIOCOMPOSTING TECHNOLOGY IN Khabarovsk Krai for Fertiliser Production

Research article

Zhebo A.V.^{1,*}, Dahova E.V.², Barkhatova O.A.³¹ ORCID : 0000-0003-3142-2188;^{1,2,3} Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

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

Abstract

The article examines the method of microbiological composting of sawmill wood waste. The feasibility of applying these technologies for the forest industry of Khabarovsk Krai was analysed, taking into account the large volumes of logging with a high degree of waste generation and the specifics of local soils. The analysis of existing biocomposting technologies, successfully implemented in the western part of Russia and abroad to obtain a substrate that can be used in the reclamation and restoration of depleted land, to increase yields in regions with difficult climatic conditions, for the cultivation of agricultural crops. The development of a solution for processing forest industry waste in Khabarovsk Krai is promising for the forestry complex and agricultural enterprises.

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

Введение

Лесистость территории Хабаровского края, по материалам Министерства лесного хозяйства и лесопереработки, на 2023 год составляет 66,6% [1]. По лесному фонду, лидирующими породами являются хвойные, в большинстве представленные лиственницей и елью, общее распределение пород показано на рисунке 1.

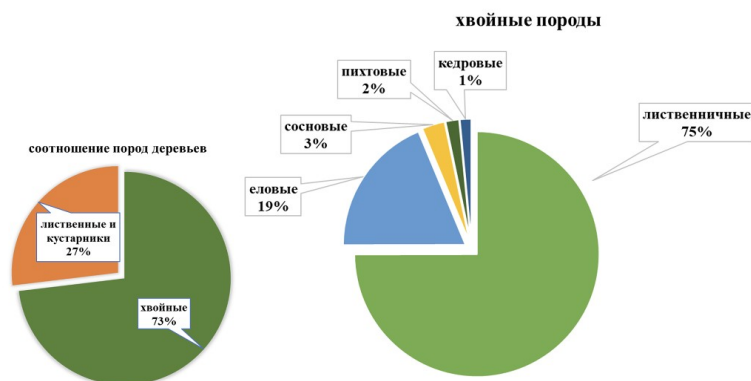


Рисунок 1 - Древесные породы Хабаровского края

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.1.1>

Высокая обеспеченность лесными ресурсами ставит Хабаровский край на первое место по заготовке древесины в Дальневосточном федеральном округе – до 50%. Наибольшее количество предприятий, занятых в отрасли, расположены в муниципальных районах края: Хабаровском, Комсомольском, Нанайском, Солнечном, Ульчском, им. Лазо (рис.2) [1], [2], [3].

В этих же районах отмечается концентрация сельскохозяйственных предприятий, а также личных подсобных хозяйств (ЛПХ) и крестьянско-фермерских хозяйств (КФХ), занятых как животноводством, так и растениеводством. Всего в Хабаровском крае присутствует более 80 сельскохозяйственных организаций, обрабатывается около 55 тыс. га в 2024, что на 2,6% меньше, чем в 2023г [4]. Показатели развития растениеводства в крае обусловлены ограничивающими факторами, в том числе отнесением территории к зоне рискованного земледелия и необходимостью повышать плодородие почв [5].

- 01 Амурский
- 02 Аяно-Майский
- 03 Бикинский
- 04 Ванинский
- 05 Верхнебуреинский
- 06 Вяземский
- 07 Комсомольский
- 08 Нанайский
- 09 Николаевский
- 10 Охотский
- 11 имени Лазо
- 12 имени Полины Осипенко
- 13 Советско-Гаванский
- 14 Солнечный
- 15 Тугуро-Чумиканский
- 16 Ульчский
- 17 Хабаровский



Рисунок 2 - Муниципальные районы Хабаровского края
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.1.2>

Отходы лесной промышленности можно представить тремя группами: твердые, мягкие и древесная зелень. В зависимости от этапов переработки отходы можно классифицировать на: образующиеся в результате лесозаготовки и возникающие в результате деревообработки. Основные объемы на обоих этапах представляют категории твердых отходов (ветки, пни, щепа, кусковые отходы) и мягких отходов лесопиления и деревообработки (опилки, стружка) [5]. В настоящее время остро стоит проблема комплексной утилизации отходов, образующихся в сфере лесной промышленности, что обусловлено рядом преобразований в нормативной, экономической и экологической сфере [6], [7], [8]. Учеными предлагается ряд возможных путей вовлечения отходов как ценного вторичного сырья в целях создания строительных материалов, топливных компонентов, удобрений [7]. Однако особенность территории размещения, мощности производства, а также рынок потенциальных потребителей переработанного сырья, ставит под вопрос экономическую целесообразность использования ряда предложений. Одним из наиболее перспективных путей переработки, является направление создания биоудобрений на основе отходов лесной промышленности для использования в первую очередь на территории края и перспективного дальнейшего продвижения на рынке.

Основные результаты

Как было отмечено ранее, основные заготавливаемые породы – хвойные. Согласно литературным данным, кора деревьев хвойных пород содержит около 20% целлюлозы, до 31% гемицеллюлозы, до 10% полиуронидов, 27-33% лигнина и 14-30% экстрактивных веществ. Отмечаются высокие значения органического вещества и низкие значения токсичных компонентов (в том числе накопленных) в составе кородревесных отходов [9]. Высокую концентрацию дубильных веществ, наличие ксилы, терпенов и фенола, стоит рассматривать как потенциальных ингибиторов функций жизнедеятельности организмов при биологических методах переработки [7].

Имеются сведения о различных способах компостирования древесных отходов с применением различных добавок – коровьего навоза [13], осадков сточных вод предприятий ЖКХ [14], древесных грибов [15] и др.

К биологическим методам переработки можно отнести две основные группы: использование микроорганизмов-деструкторов и переработка отходов длительного хранения с помощью грибов. Внесение данных компонентов предполагает создание специальных условий по температурному режиму, размещению, обеспечению кислородом, дополнительными компонентами (создание смеси с навозом, пометом, осадком сточных вод, растительными остатками и др.) [6], [9].

Наиболее простым и низкокзатратным способом переработки древесных отходов является компостирование. Ускорение естественных процессов разложения возможно при внесении заквасок с микроорганизмами-деструкторами, обладающих целлюлозной и лигнинолитической активностью. Положительно в данном направлении проявили себя группы микромицетов *Fusarium sp.* и *Aspergillus sp.*, а также *Strepomyces sp.*, *Cellulomonas sp.* [10], [11].

Второй перспективный метод – создание оптимальных условий для развития различных грибов (микромицетов, базидиомицетов, аскомицетов), в том числе естественных деструкторов – ксилотрофных грибов. Стоит обратить внимание на узкоспециализированные группы (бурая, белая мягкая смешанная гнили). Отмечается, что *Sclerotinia sclerotiorum* (белая гниль) более устойчива к фунгитоксичным веществам фенольной природы, что делает ее применение для хвойных пород более перспективным. Ведущая роль в природных экосистемах по наличию дереворазрушающих ферментов принадлежит базидиомицетам (*Agaricomycetes*, *Dacrymycetes*, *Tremellomycetes*), которые обладают широким спектром специфических окислительных ферментов. Так, афиллофоровые грибы составляют более половины известных дереворазрушающих грибов (57-75%) [11]. Из аскомицетов стоит выделить *Trichoderma viride*, применение которой позволяет проводить биоконверсию без подготовки лигнина. *Trichoderma* отличается высокой скоростью роста, данные грибы безопасны не только для растений, но и для животных, поэтому их активно используют в составе кормовых добавок в животноводстве и птицеводстве, также обладают свойствами энтормопатогенных грибов, что является положительной стороной в растениеводстве.

Обсуждение

Следует отметить, что перечисленные выше методы компостирования положительно проявляют себя при стимуляции естественной микробиоты. Кора, смешанная с тяжелой почвой, способствует аэрированию почвы, предотвращает уплотнение, увеличивает водопоглощение и уменьшает эрозию почвы [11].

Кора содержит разнообразные органические вещества, в том числе и легкоразлагаемые, и минеральные соединения, важные для питания растений. Это позволяет возвращать в круговорот природы изъятую у нее органическую часть, необходимую для нормального функционирования почвенно-биотического комплекса, что весьма важно для формирования устойчивого климата и экологического каркаса на территориях бассейна реки Амур, за который несут ответственность и лесные насаждения, благодаря которым происходит не только поглощение углекислого газа, но и поддержание углеродного баланса и водно-минерального обмена всего Амурского бассейна.

Леса промышленного назначения наиболее активны в процессе углеродного и водно-минерального обмена и это требует кардинального пересмотра технологий лесовосстановления, в частности наиболее рационального использования древесных отходов для производства органических и органоминеральных удобрений. Такое направление приобретает особую перспективность в связи с тем, что интенсивное земледелие приводит к быстрому снижению плодородия почв из-за минерализации гумуса. Несмотря на определенный опыт, получение органических и органоминеральных удобрений на основе древесной биомассы остается актуальной задачей, в частности для Хабаровского края, и требует дальнейших исследований в этой области, особенно в период актуализации вопросов продовольственной безопасности и импортозамещения, что также неразрывно связано с обеспечением качественного плодородия почв.

Таблица 1 - Сравнение различных методов компостирования древесных отходов

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.1.3>

Метод компостирования	Преимущества метода	Ограничения метода
Термическое	быстрое разложение? благодаря высоким температурам? уничтожение патогенов и сорняков	необходимость контроля температуры? потребность в большом количестве материалов для достижения необходимой температуры
Аэробное	эффективное разложение органических веществ, высокое содержание питательных вещества в конечном продукте	требует регулярного переворачивания, возможность неприятного запаха при недостаточной аэрации
Анаэробное	не требует постоянного контроля, может использоваться в замкнутых системах	долгий процесс разложения, низкое качества конечного продукта (меньше питательных веществ)
Вермикомпостирование	Высокая эффективность переработки, получение высококачественного вермикомпоста	необходимость контроля условия (влажность, температура), ограниченная способность к переработке больших объемов
Боксовое	удобство в использовании, защита от внешних факторов (погода, животные)	ограниченная площадь размещения, необходимость периодического контроля и обслуживания

Метод компостирования	Преимущества метода	Ограничения метода
Компостирование в кучах	простота реализации, возможность переработки больших объемов	долгий процесс разложения, необходимость контроля условий (влажность, температура)
Микробиологическое	простота реализации, не требует особых условий, возможность переработки больших объемов, получение стабильного состава питательных веществ в конечном продукте	подготовка микроорганизмов, необходимость контроля условий (влажность, температура) и периодического обслуживания

Как видно из приведенной таблицы, каждый метод имеет как преимущества, так и недостатки, выбор метода зависит от конкретных условий, доступных ресурсов и целей переработки. Следует отметить, что для получения продукта с высоким содержанием питательных веществ (а значит и более высокой добавленной стоимостью) оптимальным будет микробиологический метод разложения.

Далее были проанализированы возможные экологические и технологические риски методы микробиологического компостирования древесных отходов (таблица 2).

Таблица 2 - Оценка экологических рисков и мер по их предупреждению

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.1.4>

Риск	Причина возникновения	Меры по предупреждению
Загрязнение почвы и воды	при неправильном компостировании может произойти вымывание питательных веществ и загрязняющих веществ в грунтовые воды	Правильное размещение компостных куч – удаление компостных куч от источников воды и использование барьеров для предотвращения вымывания питательных веществ
Выделение неприятных запахов	неправильное соотношение углерода и азота, а также недостаточная аэрация могут привести к образованию сероводорода и других неприятных запахов	Соблюдение правильного соотношения материалов – подбор компонентов с учетом соотношения углерода и азота (C:N), что способствует оптимальному разложению и предотвращает образование запахов
Патогенные организмы	если компост не достигает достаточной температуры, это может привести к выживанию патогенных микроорганизмов	Термическая обработка – обеспечение достижения необходимых температур (60-70°C) для уничтожения патогенов и семян сорняков. Это можно достичь путем периодического переворачивания компоста
Неправильное управление процессом	нехватка контроля за параметрами (температура, влажность, аэрация) может привести к неэффективному разложению и образованию токсичных веществ	Мониторинг и контроль – регулярный мониторинг температуры, влажности и аэрации в процессе компостирования. Использование термометров и влагомеров для контроля условий Использование добавок – применение специальных добавок (например, активных микробных культур), которые могут ускорить процесс разложения и улучшить качество конечного продукта

Риск	Причина возникновения	Меры по предупреждению
Неэффективное использование ресурсов	Неправильное соотношение компонентов может привести к образованию неполноценного компоста, что снижает его полезные свойства	Обучение и информирование – проведение обучающих семинаров для работников, занимающихся компостированием, по правильным методам и техникам управления процессом. Анализ конечного продукта – регулярный анализ готового компоста на содержание питательных веществ и наличие патогенов, что позволит оценить его безопасность и эффективность для использования в сельском хозяйстве

Эти меры помогут минимизировать экологические и технологические риски, связанные с микробиологическим компостированием, обеспечивая более эффективный и безопасный процесс переработки древесных отходов.

Имеется зарубежный опыт использования древесных отходов для глубокого разложения древесины. Например, в Канаде изучалась эффективность компостирования древесных отходов с использованием различных штаммов грибов. Результаты показали, что инокуляция компоста специфическими видами грибов, такими как *Pleurotus ostreatus*, значительно ускоряет разложение древесины и увеличивает содержание доступных питательных веществ [16]. Исследовалась роль микробиоты в процессе компостирования, подчеркивая важность разнообразия грибов для оптимизации разложения сложных органических материалов. Разнообразие видов микромицетов способствует более полному разложению лигнина и целлюлозы [17].

В одном из исследований изучалась роль добавления древесного угля в компостные смеси, что способствовало увеличению активности микроорганизмов и улучшению структуры почвы. Древесный уголь также служит средой для обитания полезных микроорганизмов [18].

В Австралии [19] использовали технологию термофильного компостирования для достижения высоких температур, уничтожающих патогены и семена сорняков. Это особенно важно для получения безопасного биофертилизатора.

Заключение

Мировой опыт микробиологического компостирования древесных отходов предоставляет ценные знания и методы, которые могут быть адаптированы для условий Хабаровского края. Использование местных видов грибов, внедрение технологий термофильного компостирования и добавление древесного угля могут значительно улучшить процессы переработки древесных отходов и производства биофертилизаторов. Это не только поможет в управлении отходами, но и будет способствовать устойчивому развитию сельского хозяйства в регионе.

Таким образом, разработка решений в области создания биоудобрений на основе отходов лесной промышленности в Хабаровском крае является перспективным решением для лесного комплекса – как источника образования отходов для переработки. Потенциальными заказчиками могут стать сельскохозяйственные предприятия края, а также организации осуществляющие мероприятия по лесовосстановлению и восстановлению антропогенно-нарушенных территорий.

Финансирование

Исследование выполнено при поддержке Тихоокеанского государственного университета.

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.

Funding

The study was supported by Pacific National University.

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. Лесной план Хабаровского края. — Хабаровск, 2018. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/465358059> (дата обращения: 21.12.2023).
2. Харольская А. Лесопромышленный комплекс Хабаровского края в цифрах и фактах / А. Харольская // Комсомольская правда. — URL: <https://www.kp.ru/best/hab/les/> (дата обращения: 21.12.2023).

3. Кибякова С.И. Анализ лесосырьевой базы Дальнего Востока / С.И. Кибякова, И.Л. Белозеров // Вестник МГУЛ — Лесной вестник. — 2008. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-lesosyrievoy-bazy-dalnego-vostoka> (дата обращения: 21.12.2023).
4. Посевные площади сельскохозяйственных культур под урожай 2024 года в хозяйствах всех категорий. — URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev-4%D1%81%D1%85_2024.xlsx (дата обращения: 21.12.2023).
5. Программа деятельности центра компетенций в сфере сельскохозяйственной кооперации и поддержки фермеров в Хабаровском крае. — Хабаровск, 2023. — URL: <https://clck.ru/3Hqa5a> (дата обращения: 21.12.2023).
6. Степанов В.И. Отходы лесной промышленности и их использование в национальном хозяйстве / В.И. Степанов, Н.А. Мезина // Вестник РЭА им. Г.В. Плеханова. — 2012. — № 3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/othody-lesnoy-promyshlennosti-i-ih-ispolzovanie-v-natsionalnom-hozyaystve> (дата обращения: 21.12.2023).
7. Ерунцова Е.Р. Кордревесные отходы: накопление и пути утилизации / Е.Р. Ерунцова, Е.М. Анчугова // Актуальные проблемы биологии и экологии : Материалы докладов XXVII Всероссийской молодежной научной конференции (с элементами научной школы), Сыктывкар, 16—20 марта 2020 года / Отв. ред. С.В. Дегтева. — Сыктывкар: Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2020. — С. 106–108.
8. Абузов А.В. Возможность использования отходов лесной промышленности для создания биоудобрений / А.В. Абузов, Е.В. Дахова, А.С. Шевчук // ИВД. — 2023. — № 8 (104). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnost-ispolzovaniya-othodov-lesnoy-promyshlennosti-dlya-sozdaniya-bioudobreniy> (дата обращения: 20.12.2023).
9. Максимов А.Ю. Получение биоудобрения на основе отходов целлюлозно-бумажной промышленности / А.Ю. Максимов, Ю.Г. Максимова, А.В. Шилова [и др.] // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты : Сборник научных трудов. — Минск : Белорусская наука, 2019. — Т. 11. — С. 277–287. — EDN KVENDK.
10. Юганцова Е.Д. Обзор методов переработки кордревесных отходов (КДО) значительного срока хранения / Е.Д. Юганцова, Ю.В. Куликова // Экология и безопасность жизнедеятельности : Сборник статей XXII Международной научно-практической конференции, Пенза, 13-14 декабря 2022 года / Под ред. В.А. Селезнева, И.А. Лукшина. — Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. — С. 443–446. — EDN: GLTENJ.
11. Мокрушина Н.С. Биоконверсия древесных отходов методом компостирования с получением органического удобрения / Н.С. Мокрушина, Т.С. Тарасова, И.В. Дармов // Известия Самарского научного центра РАН. — 2009. — № 1-1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biokonversiya-drevesnyh-othodov-metodom-kompostirovaniya-s-polucheniem-organicheskogo-udobreniya> (дата обращения: 21.12.2023).
12. Володин В.В. Тенденции в развитии методов утилизации коры и кордревесных отходов длительного хранения (обзор) / В.В. Володин, А.А. Шубаков, С.О. Володина [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. — 2022. — № 5. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-v-razvitiy-metodov-utilizatsii-kory-i-korodrevesnyh-othodov-dlitelnogo-hraneniya-obzor> (дата обращения: 21.12.2023).
13. Gurbanova R.V. Composting using wood waste production / R.V. Gurbanova, G.Sh. Cavadova // Problems of Modern Science and Education. — 2020. — № 12-1 (157). — P. 12–15. — EDN: ZOLKKB.
14. Графова Е.О. Исследование почвенных субстратов на основе отходов деревообработки для выращивания лесных семян / Е.О. Графова, О.И. Гаврилова, В.В. Горбач // Resources and Technology. — 2023. — Т. 20. — № 2. — С. 82–98. — DOI: 10.15393/j2.art.2023.7143. — EDN: HXRTMQ.
15. Беловежец Л.А. Агрохимические показатели компоста на основе древесных опилок / Л.А. Беловежец, А.В. Третьяков // Химия в интересах устойчивого развития. — 2020. — Т. 28. — № 2. — С. 124–130. — DOI: 10.15372/KhUR2020210. — EDN: MRPN DU.
16. McMahon V. Composting and bioremediation process evaluation of wood waste materials generated from the construction and demolition industry / V. McMahon, A. Garg, D. Aldred [et al.] // Chemosphere. — 2008. — № 71. — P. 1617–1628. — DOI: 10.1016/j.chemosphere.2008.01.031.
17. Majeed L. Role of Microbiota in Composting / L. Majeed, S. Rashid, H. Nisar. — 2021. — DOI: 10.1007/978-3-030-48771-3_15.
18. Gómez Díaz J. Biochar addition rate influences soil microbial abundance and activity in temperate soils / J. Gómez Díaz, K. Denef, C. Stewart [et al.] // European Journal of Soil Science. — 2013. — № 65. — DOI: 10.1111/ejss.12097.
19. Chang J. Thermophilic composting of food waste / J. Chang, J. Tsai, K. Wu // Bioresource Technology. — 2006. — № 97. — P. 116–122. — DOI: 10.1016/j.biortech.2005.02.013.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Lesnoj plan Habarovskogo kraja [Forest Plan of Khabarovsk Krai]. — Khabarovsk, 2018. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/465358059> (accessed: 21.12.2023). [in Russian]
2. Harol'skaja A. Lesopromyshlennyj kompleks Habarovskogo kraja v cifrah i faktah [Khabarovsk Krai's timber industry in figures and facts] / A. Harol'skaja // Komsomol'skaja pravda. — URL: <https://www.kp.ru/best/hab/les/> (accessed: 21.12.2023). [in Russian]
3. Kibjakova S.I. Analiz lesosyr'evoy bazy Dal'nego Vostoka [Analysis of the forest raw material base of the Far East] / S.I. Kibjakova, I.L. Belozеров // Vestnik MGUL — Lesnoj vestnik [MSUL Bulletin – Forestry Bulletin]. — 2008. — № 2. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-lesosyrievoy-bazy-dalnego-vostoka> (accessed: 21.12.2023). [in Russian]
4. Posevnye ploshhadi sel'skohozjajstvennyh kul'tur pod urozhaj 2024 goda v hozjajstvah vseh kategorij [Sown areas of agricultural crops for the harvest of 2024 in farms of all categories]. — URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev-4%D1%81%D1%85_2024.xlsx (accessed: 21.12.2023). [in Russian]
5. Programma dejatel'nosti centra kompetencij v sfere sel'skohozjajstvennoj kooperacii i podderzhki fermerov v Habarovskom krae [Activity Programme of the Competence Centre for Agricultural Cooperation and Farmer Support in Khabarovsk Krai]. — Khabarovsk, 2023. — URL: <https://clck.ru/3Hqa5a> (accessed: 21.12.2023). [in Russian]

6. Stepanov V.I. Othody lesnoj promyshlennosti i ih ispol'zovanie v nacional'nom hozjajstve [Forest industry wastes and their use in the national economy] / V.I. Stepanov, N.A. Mezina // Vestnik RJeA im. G.V. Plehanova [Bulletin of the Plekhanov Russian Academy of Economic Sciences]. — 2012. — № 3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/othody-lesnoy-promyshlennosti-i-ih-ispolzovanie-v-natsionalnom-hozyaystve> (accessed: 21.12.2023). [in Russian]
7. Eruncova E.R. Korodrevesnye othody: nakoplenie i puti utilizacii [Bark-wood waste: accumulation and ways of utilisation] / E.R. Eruncova, E.M. Anchugova // Aktual'nye problemy biologii i jekologii : Materialy dokladov XXVII Vserossijskoj molodezhnoj nauchnoj konferencii (s jelementami nauchnoj shkoly), Syktyvkar, 16—20 marta 2020 goda [Topical problems of biology and ecology : Proceedings of the XXVII All-Russian Youth Scientific Conference (with elements of scientific school), Syktyvkar, 16-20 March 2020] / Resp. ed. S.V. Degteva. — Syktyvkar: Institute of Biology of the Komi Scientific Centre of the Ural Branch of RAS, 2020. — P. 106–108. [in Russian]
8. Abuzov A.V. Vozmozhnost' ispol'zovaniya othodov lesnoj promyshlennosti dlja sozdaniya bioudobrenij [Possibility of using forest industry waste for biofertiliser production] / A.V. Abuzov, E.V. Dahova, A.S. Shevchuk // IVD. — 2023. — № 8 (104). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnost-ispolzovaniya-othodov-lesnoj-promyshlennosti-dlya-sozdaniya-bioudobrenij> (accessed: 20.12.2023). [in Russian]
9. Maksimov A.Ju. Poluchenie bioudobreniya na osnove othodov celljulozno-bumazhnoj promyshlennosti [Obtaining biofertiliser on the basis of pulp and paper industry waste] / A.Ju. Maksimov, Ju.G. Maksimova, A.V. Shilova [et al.] // Mikrobnye biotehnologii: fundamental'nye i prikladnye aspekty : Sbornik nauchnyh trudov [Microbial biotechnology: fundamental and applied aspects : Collection of scientific papers]. — Minsk : Belarusian Science, 2019. — Vol. 11. — P. 277–287. — EDN KVENDK. [in Russian]
10. Jugancova E.D. Obzor metodov pererabotki korodrevesnyh othodov (KDO) znachitel'nogo sroka hranenija [Review of methods of processing of bark and wood waste (BWW) of significant storage life] / E.D. Jugancova, Ju.V. Kulikova // Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti : Sbornik statej XXII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Penza, 13-14 dekabrja 2022 goda [Ecology and Life Safety : Collection of articles of the XXII International Scientific and Practical Conference, Penza, 13-14 December 2022] / Edited by V.A. Seleznev, I.A. Lukshin. — Penza: Penza State Agrarian University, 2022. — P. 443–446. — EDN: GLTEHJ. [in Russian]
11. Mokrushina N.S. Biokonversija drevesnyh othodov metodom kompostirovaniya s polucheniem organicheskogo udobrenija [Bioconversion of wood waste by composting method to produce organic fertilizer] / N.S. Mokrushina, T.S. Tarasova, I.V. Darmov // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN [Proceedings of the Samara Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences]. — 2009. — № 1-1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biokonversiya-drevesnyh-othodov-metodom-kompostirovaniya-s-polucheniem-organicheskogo-udobreniya> (accessed: 21.12.2023). [in Russian]
12. Volodin V.V. Tendencii v razvitii metodov utilizacii kory i korodrevesnyh othodov dlitel'nogo hranenija (obzor) [Tendencies in the development of bark and bark-wood waste utilisation methods for 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. — № 5. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-v-razvitii-metodov-utilizatsii-kory-i-korodrevesnyh-othodov-dlitel'nogo-hranenija-obzor> (accessed: 21.12.2023). [in Russian]
13. Gurbanova R.V. Composting using wood waste production / R.V. Gurbanova, G.Sh. Cavadova // Problems of Modern Science and Education. — 2020. — № 12-1 (157). — P. 12–15. — EDN: ZOLKKB.
14. Grafova E.O. Issledovanie pochvennyh substratov na osnove othodov derevoobrabotki dlja vyrashhivaniya lesnyh sejancev [Study of soil substrates based on wood waste for growing forest seedlings] / E.O. Grafova, O.I. Gavrilova, V.V. Gorbach // Resources and Technology. — 2023. — Vol. 20. — № 2. — P. 82–98. — DOI: 10.15393/j2.art.2023.7143. — EDN: HXRTMQ. [in Russian]
15. Belovezhec L.A. Agrohimičeskie pokazateli komposta na osnove drevesnyh opilok [Agrochemical parameters of compost based on sawdust] / L.A. Belovezhec, A.V. Treťjakov // Himija v interesah ustojčivogo razvitija [Chemistry for Sustainable Development]. — 2020. — Vol. 28. — № 2. — P. 124–130. — DOI: 10.15372/KhUR2020210. — EDN: MRPNDU. [in Russian]
16. McMahon V. Composting and bioremediation process evaluation of wood waste materials generated from the construction and demolition industry / V. McMahon, A. Garg, D. Aldred [et al.] // Chemosphere. — 2008. — № 71. — P. 1617–1628. — DOI: 10.1016/j.chemosphere.2008.01.031.
17. Majeed L. Role of Microbiota in Composting / L. Majeed, S. Rashid, H. Nisar. — 2021. — DOI: 10.1007/978-3-030-48771-3_15.
18. Gómez Díaz J. Biochar addition rate influences soil microbial abundance and activity in temperate soils / J. Gómez Díaz, K. Denef, C. Stewart [et al.] // European Journal of Soil Science. — 2013. — № 65. — DOI: 10.1111/ejss.12097.
19. Chang J. Thermophilic composting of food waste / J. Chang, J. Tsai, K. Wu // Bioresource Technology. — 2006. — № 97. — P. 116–122. — DOI: 10.1016/j.biortech.2005.02.013.