

Тенденции в развитии методов утилизации коры и кородревесных отходов длительного хранения (обзор)

© 2022. В. В. Володин¹✉, А. А. Шубаков¹, С. О. Володина¹, Н. Н. Шергина^{1,2}, Р. Г. Васильев³

¹Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, г. Сыктывкар, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина», г. Сыктывкар, Российская Федерация,

³ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Российская Федерация

В обзоре проведен анализ состояния проблемы накопления и утилизации коры и кородревесных отходов деревообрабатывающих и целлюлозно-бумажных производств. Систематизированы методы утилизации, которые различаются для «свежей» коры и кородревесных отходов длительного срока хранения. Более детально описана сущность биотехнологических методов глубокой биотрансформации кородревесных отходов длительного срока хранения: компостирование с применением минеральных удобрений; стимуляция аборигенной микрофлоры; использование активного ила и искусственных консорциумов микроорганизмов; создание биотехнических систем в теле короотвалов; твердофазная ферментация кородревесных отходов ксилотрофными грибами. Приведены успешные примеры реализации методов утилизации кородревесных отходов длительного хранения на короотвалах целлюлозно-бумажных предприятий Пермского края. Предложен алгоритм биоконверсии кородревесных отходов твердофазной ферментацией с помощью ксилотрофных грибов на короотвале ООО «Сыктывкарский ЛДК» (Республика Коми) с целью получения почвоподобных субстратов и удобрений, плодовых тел съедобных ксилотрофных грибов и ценных грибных метаболитов для медицины.

Ключевые слова: механическая переработка, химические технологии, биотехнологии, биоконверсия, биотехнические системы, твердофазная ферментация, компостирование, консорциумы микроорганизмов, ксилотрофные грибы

Благодарности: исследования выполнены по теме НИР Института биологии ФИЦ «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» № гос. регистрации 1021051101411-4-1.6.23 при частичной поддержке НИИЦ «Курчатовский институт» в рамках тематического плана.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Володин В. В., Шубаков А. А., Володина С. О., Шергина Н. Н., Васильев Р. Г. Тенденции в развитии методов утилизации коры и кородревесных отходов длительного хранения (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(5):611-632. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.611-632>

Поступила: 07.06.2022

Принята к публикации: 05.10.2022

Опубликована онлайн: 26.10.2022

Trends in the development of methods of disposal of bark and bark-wood waste of long-term storage (review)

© 2022. Vladimir V. Volodin¹✉, Anatoly A. Shubakov¹, Svetlana O. Volodina¹, Nina N. Shergina^{1,2}, Raif G. Vasilov³

¹Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation,

²Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russian Federation,

³National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russian Federation

The present review analyzes the problem of accumulation and utilization of bark and bark-wood waste from wood-working and pulp and paper industries. The methods of utilization are systematized, which differ for "fresh" bark and bark-wood waste of a long shelf life. The essence of biotechnological methods of deep biotransformation of bark-wood waste of long shelf life is described in more detail: composting with the use of mineral fertilizers, stimulation of native microflora, use of activated sludge and artificial consortia of microorganisms, creation of biotechnical systems in the body of bark dumps, solid-phase fermentation of bark-wood waste by xylotrophic fungi. Successful examples of the implementation of methods of biotransformation of bark-wood waste of long-term storage in the bark dumps of pulp and paper enterprises of the Perm Region of Russian Federation are given. The algorithm of utilization of bark-wood waste by solid-phase fermentation with the help of xylotrophic fungi at the bark dumps of Syktyvkar woodworking plant (Republic of Komi, Russia) is proposed in order to obtain soil-like substrates and fertilizers, fruit bodies of edible xylotrophic fungi and valuable fungal metabolites for medicine.

Keywords: mechanical processing, chemical technologies, biotechnologies, bioconversion, bio-technical systems, solid-phase fermentation, composting, consortia of microorganisms, xylotrophic fungi

Acknowledgement: the research was carried out on the topic of research of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, State Registration No. 1021051101411-4-1.6.23 with the partial support of the Kurchatov Institute Research Center as part of the thematic plan.

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interests: the authors stated that there was no conflict of interests.

For citation: Volodin V. V., Shubakov A. A., Volodina S. O., Shergina N. N., Vasilov R. G. Trends in the development of methods of disposal of bark and bar-wood waste of long-term storage (review article). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(5):611-632. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.611-632>

Received: 07.06.2022 Accepted for publication: 05.10.2022 Published online: 26.10.2022

В России сосредоточены крупнейшие запасы лесных ресурсов. По запасам древесины Российская Федерация занимает второе место в мире после Бразилии (соответственно 81,5 и 126,2 млрд м³), затем следуют США – 47, Канада – 33 и Китай – 15 млрд м³. По объемам заготовки Российская Федерация занимает пятое место в мире. Поскольку современные технологии лесозаготовок концентрируются на заготовке стволов как на самой ценной части древесины, то в местах лесозаготовок остаются многочисленные порубочные отходы в виде вершинок, веток, остатков стволов и коры [1]. В результате интенсивной заготовки древесины в XX веке мировые запасы лесов значительно снизились. По оценкам исследователей, в Российской Федерации ежегодно образуется порядка 35,5 млн м³ древесных отходов, что представляет собой серьезную экологическую проблему [2, 3]. В результате проведенного анализа хозяйственной деятельности лесозаготовительных предприятий Европейского Севера России выявлено, что при заготовке древесины практически не использованными на лесосеке остаются 16-22 % порубочных отходов от общего объема заготовленной и вывезенной для реализации древесины [4, 5]. В целом, в мире образуется ежегодно до 140 Гт отходов биомассы. Комплексное использование лесных ресурсов предусматривает утилизацию всей биомассы дерева, включая многочисленные вышеупомянутые отходы, которые могут служить сырьем для производства многих ценных продуктов с высокой добавленной стоимостью, к которым относятся строительные материалы, продукты лесохимии технического назначения, биотопливо, белково-углеводные кормовые добавки, биологически активные вещества и ферментные препараты для медицины, ветеринарии и сельского хозяйства [6, 7, 8].

Одним из мало используемых до настоящего времени отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности является кора, причем как кора свежезаготовленной

древесины, так и кородревесные отходы длительного хранения [1].

Цель обзора – систематизировать научно-техническую информацию, касающуюся оценки современного состояния проблемы утилизации, переработки коры и длительно хранимых кородревесных отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности.

Материал и методы. Изучены данные 90 источников по проблемам утилизации и переработки коры и кородревесных отходов длительного хранения, из них 39 источников на иностранном языке. Научные публикации на русском и английском языках были отобраны путем запроса в научную электронную библиотеку eLIBRARY.RU, на портал Scienced Direct, международные базы данных Web of Science и Scopus; поиск патентов проводили в Информационно-поисковой системе Федерального института промышленной собственности. Глубина поиска научной и патентной литературы ограничивалась в основном периодом с 2000 по 2022 год. Доля научных материалов составляет 98 %. Привлечение публикаций и патентов со сроком опубликования больше, чем 5 лет, обусловлено необходимостью раскрыть тенденции развития научных и технологических подходов к утилизации коры и кородревесных отходов во временном аспекте. Основным критерием включения и исключения источников в настоящий обзор послужила необходимость фокусирования внимания на проблеме утилизации кородревесных отходов длительного хранения биотехнологическими методами.

Основная часть.

1. *История проблемы и традиционные методы переработки коры.* Кора дерева осуществляет транспорт ассимилятов, синтезированных в листьях, и защищает дерево от неблагоприятных условий окружающей среды. Кора имеет сложную структуру и состоит из комплекса тканей: внутренний слой, прилегающий к камбию (луб), и наружный (корка). Соотношение зон этих слоев разное у различных

пород деревьев и может меняться у деревьев одного и того же вида в зависимости от эколого-географических условий произрастания. Доля корки в коре составляет от 20 до 80 %. С возрастом деревьев доля коры в объеме ствола уменьшается [9].

Химический состав коры существенно отличается от состава древесины соответствующей древесной породы. Это отличие обусловлено разным анатомическим строением коры и древесины и их различной ролью в жизнедеятельности деревьев. Кора содержит гораздо меньше целлюлозы и значительно больше экстрактивных и минеральных веществ. В свою очередь, клетки тканей луба отличаются от клеток корки повышенным содержанием урсонных кислот и пентозанов, отсутствием суберина, который содержится в корке. В корке березы (бересте), кроме суберина, содержится бетулин. Оболочки ситовидных клеток состоят из целлюлозы, гемицеллюлоз, но не содержат лигнин¹ [10].

Объемы накопления коры ежегодно в Российской Федерации составляют около 30 млн м³ [11], в мире – 300-400 млн м³ [12]. Наибольшее количество коры скапливается на крупных целлюлозно-бумажных и деревоперерабатывающих предприятиях. Кора составляет от 7 до 15 % объема перерабатываемой древесины.

Существенные различия в химическом составе древесины и коры требуют отдельного проведения процессов переработки отходов этих компонентов деревьев. Причиной невисокого промышленного использования «свежей» коры является своеобразное анатомическое строение и химический состав, которые в совокупности обуславливают ее высокую влажность и повышенную зольность. Эти свойства коры ограничивают, например, ее использование в качестве топлива. Вместе с тем «свежая» кора, и особенно ее лубяной слой, содержит большое количество полезных компонентов и имеет немалую потенциальную ценность в технологиях ближайшего будущего. К сожалению, несмотря на то, что из коры выделено значительное количество биологически активных соединений, разработанные способы и технологии их извлечения и полу-

чения на их основе полезных продуктов являются до настоящего времени недостаточно рентабельными. Примеры вовлечения коры некоторых пород деревьев в промышленную переработку ограничиваются получением пробки, дубильных веществ, дегтя и бетулина из бересты, бальзама из коры растущих деревьев пихты и некоторыми другими продуктами [13, 14, 15].

В настоящее время в России активно проводятся исследования по разработке более эффективных методов извлечения из коры ценных веществ, находящихся как в свободном, так и связанном состоянии (например, это касается фенольных соединений). В работах [16] было показано, что кратковременная активация коры хвойных пород древесины (пихты и лиственницы) водяным паром при повышенной температуре (200-240 °C) с резким сбросом давления приводит к существенному увеличению степени извлечения экстрактивных веществ спиртом и водой. Извлечение экстрактивных веществ повышается при использовании добавок хлорида алюминия, являющегося промотором реакций гидролиза лигноуглеводных связей [17]. Однако в России вовлечение коры в производственные процессы остается еще на низком уровне.

Таким образом, к основным методам и направлениям утилизации, переработки коры и кородревесных отходов, которые применяются в настоящее время, относятся следующие:

Вывоз в отвалы. Используется на предприятиях, у которых нет возможности перерабатывать отходы.

Производство древесноволокнистых и древесностружечных плит [18].

*Производство пробки из коры пробкового дуба (*Quercus suber* L.)* [12].

Получение активных древесных углей. В результате нагрева коры без доступа воздуха получается уголь-сырец, активацию которого проводят термохимическим способом или перегретым паром. Древесные угли изготавливают обычно из древесины березы, однако исследования, проведенные в СибГТУ (г. Красноярск), показали пригодность для этих целей коры пихты. Выход активных углей из пихтовой коры составил 32-33 % от массы коры при температуре пиролиза 750 °C [19].

¹Химический состав древесины и коры. Характеристика органических веществ. Зооинженерный факультет МСХА. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.activestudy.info/ximicheskij-sostav-drevesiny-i-kory-xarakteristika-organicheskix-veshhestv/> (дата обращения: 16.05.2022).

Получение сорбентов нефти и нефтепродуктов. В качестве исходного сырья для получения сорбентов используют подвергнутую механическому размолу и очищенную от загрязняющих и водорастворимых веществ древесную кору или кородревесные отходы. Отходы подвергают гидрофобизации сульфатным мылом, которое используется в количестве 0,5-5,0 % от массы коры [20].

Получение топливных брикетов. На этот способ переработки коры утверждены ТУ 13-7-785-84 [21].

Использование в медицине. В Государственный реестр лекарственных средств, разрешенных к медицинскому применению в Российской Федерации, включено 260 видов лекарственного растительного сырья. Из них только у четырех официальных видов растений используется кора. Кора дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и дуба скального (*Q. petraea* Liebl.) содержит дубильные вещества и используется в качестве вяжущего средства. Кора крушины ольховидной (*Frangula alnus* Mill.) включает антрагликозиды, тритерпеноиды, флавоноиды, алкалоиды, дубильные вещества и используется в качестве слабительного средства. Кора калины обыкновенной (*Viburnum opulus* L.) содержит дубильные вещества и тритерпеновые гликозиды, применяется в качестве адаптогенного и противовоспалительного средства². В народной и научной медицине, а также при производстве биологически активных добавок и косметических средств используется кора хвойных и лиственных пород деревьев (ели, сосны, лиственницы, березы и осины), подлежащих заготовке. Однако масштабы переработки коры в указанных целях в России незначительны.

В Европе концентрированный водный экстракт коры тропической лианы (*Chondrodendron tomentosum* Ruiz & Pavon) содержит кураре, который используется при некоторых хирургических операциях. Кора цинхоны красной (*Cinchona pubescens* Vahl.) и цинхоны аптечной (*Cinchona officinalis* L.) содержит хинин, который долгое время использовался как единственное лекарство от малярии. Кора коричника китайского (*Cinnamomum cassia* (L.) J. Presl.) является не только пряностью, но и обладает антибактериальным и противогрибковым действием; кроме того, она стимулирует аппетит. Кору конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) используют при диарее, геморрое и проблемах с кожей. Кору и листья африканского перечного дерева (*Warburgia salutaris* (Bertol. f.) Chiov.) традиционно применяют для симптоматической терапии при бронхолегочных заболеваниях. Отвар коры робинии ложноакациевой (*Robinia pseudoacacia* L.) используется для лечения язвы желудка и кишечника при повышенной кислотности. Кора магнолии (*Magnolia officinalis* Rehder & E. H. Wilson) традиционно востребована в китайской и японской медицине. Кора *Caesalpinia brasiliensis* L. широко используется в Бразилии для лечения диабета. Содержащиеся в коре цейлонского дуба (*Careya arborea* Roxb.) терпеноиды, флавоноиды, алкалоиды, сапонины и танины обладают положительным гепатотропным эффектом. Кора древесного кустарника акантопанакса сидячцеветкового (*Acanthopanax sessiliflorus* (Rupr. & Maxim.) Seem) обладает противоопухолевым действием. Обнаружен антибактериальный эффект коры дуба каменного (*Quercus ilex* L.). Эти и другие многочисленные примеры использования древесной коры в медицине зарубежных стран описаны в обзоре [12]. В народной и научной медицине Вьетнама используется кора некоторых видов деревьев рода *Vitex* L. [22]. Например, настойка из коры *Vitex quinata* повышает аппетит и улучшает пищеварение, ее варят и пьют в виде чая как тонизирующее средство [23].

Использование в сельском хозяйстве. Наиболее широкое использование коры в сельском хозяйстве – мульчирование, которое приводит к уменьшению испарения с поверхности почвы и способствует размножению полезных почвенных микроорганизмов. При использовании коры в качестве мульчи требуется меньше минеральных удобрений. Кора, смешанная с тяжелой почвой, способствует аэрированию почвы, предотвращает уплотнение, увеличивает водопоглощение и уменьшает эрозию почвы [12].

Использование в качестве топлива. Кора – это низкосортное топливо с высоким содержанием влаги, золы и низкими сыпучими свойствами. Перед сжиганием требуется специальная подготовка коры, включающая измельчение и обезвоживание [7, 24]. В настоящее время вместе с основным топливом сжигается около 40 % текущих запасов коры.

²Государственная фармакопея Российской Федерации XIV издание. В 4-х томах. М.: 2018.

Эффективная утилизация кородревесных отходов термическими способами с получением тепловой энергии или технологического пара на производственные нужды возможна только в случае, если влажность отходов будет составлять не более 60 %. Следовательно, термические методы обезвреживания неприменимы к кородревесным отходам длительного срока хранения, накопленным на короотвалах [25].

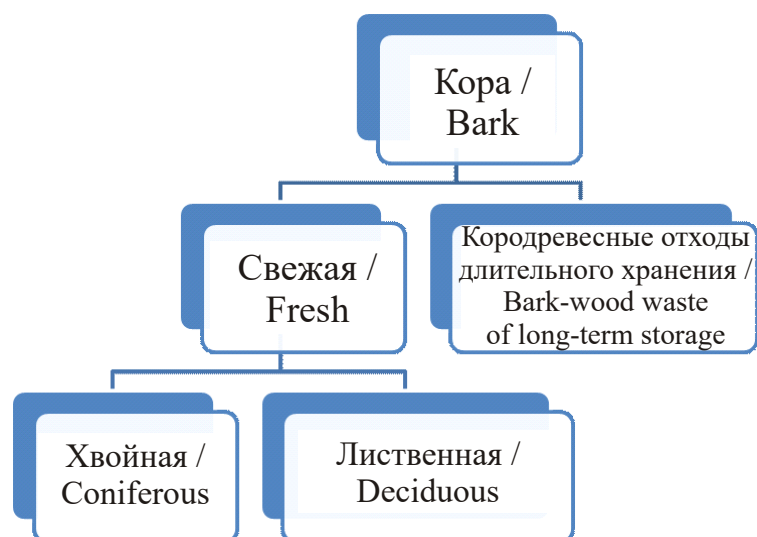


Рис. Классификация коровых отходов деревообрабатывающих производств /

Fig. Classification of bark waste from woodworking industries

2. *Компостирование коры и короотходов.* Значительная часть почвенного покрова природно-техногенных экосистем представлена деградированными почвами и техногенными поверхностными образованиями. Для повышения биологической активности техногенно-нарушенных почв можно использовать внесение в такие почвы органических веществ. Источником органического вещества могут служить кородревесные отходы, относящиеся к IV классу опасности для объектов окружающей среды и размещаемые в больших объемах на короотвалах целлюлозно-бумажных и деревообрабатывающих предприятий. Методом биотестирования на проростках кресс-салата (*Lepidium sativum* L.) установлено повышение биологической активности нарушенных почв за счет внесения кородревесных отходов в дозировках 5-15 % по массе [26].

Наиболее простым и малозатратным способом утилизации древесной коры является ее компостирование. Интерес к получению таких компостов обусловлен разнообразием, доступностью и дешевизной сырья. На динамику процессов биodeградации кородревесных

Таким образом, несмотря на имеющиеся методы переработки свежей коры, в Российской Федерации пока отсутствуют масштабные, наукоемкие, экономически рентабельные технологии по ее переработке, и недостаточно развит рынок потребления продуктов ее переработки, что приводит к образованию свалок кородревесных отходов длительного срока хранения, к утилизации и переработке которых должны применяться особенные подходы и технологии (рис.).

отходов значительное влияние оказывает видовая принадлежность коры. Показано, что удобрительные композиции с осиновой корой разлагаются быстрее, чем на основе коры хвойных пород. В результате возникает необходимость сортировки отходов древесной коры перед закладкой компостных буртов. Для ускорения разложения древесных отходов предлагается внесение в компостную смесь заквасок микроорганизмов. Вносимые микроорганизмы должны быть способны к деструкции целлюлозы и лигнина, направленной трансформации продуктов их разложения в гумусовые вещества [27, 28].

В исследованиях А. Н. Девятловской с соавторами [29, 30] по влиянию различных факторов на потребительские свойства получаемого корокомпоста получены практические рекомендации по его приготовлению, которые заключаются в следующем. Перед компостированием кору предварительно сортируют на хвойные и лиственные породы, так как они отличаются по анатомическому строению, химическому составу и устойчивостью к микробиологическому разложению. Кору реко-

мендовано измельчать до размеров частиц 3-10 мм с помощью мельниц при 70%-ной влажности субстрата. Компостирование проводят в буртах шириной 3 метра и высотой до 1,5 метра. Для ускорения процесса разложения коры и обогащения компоста питательными веществами в нее вносятся азотсодержащие и другие добавки. Лучшими источниками азота являются аммонийные формы удобрений. Оптимальной для коры хвойных пород древесины рекомендована доза азота 0,8-1,0 % по массе, для лиственных – 1,5-2,0 %. В условиях регионов, приравненных к Северу, следует вносить на 1 м³ коры 4,3 кг мочевины (соответствует 1 % азота) и 3 кг простого или 1,5 кг двойного суперфосфата и 0,7 кг калийных удобрений. Измельченная и обогащенная азотом, фосфором и калием кора с влажностью до 75 % компостируется в буртах в течение 3-4 месяцев. За это время массу два-три раза перелопачивают бульдозером или с помощью экскаватора, что сокращает сроки созревания компоста и улучшает его качество. Для повышения качества компоста и ускорения его созревания рекомендовано, кроме еженедельного перемешивания коры, измерять температуру на глубине 50 см и поддерживать влажность субстрата не менее 60 %. Начавшийся в бурте микробиологический окислительный процесс разложения коры сопровождается энергичным выделением тепла и идет успешно при любой температуре наружного воздуха. Однако формировать новые бурты из свежей не разогретой коры следует при температуре не ниже 15 °С. Такой компост имеет кислотность, равную 5,5-6,0 единиц pH, пористость 80-90 %, обладает способностью удерживать до 300 г воды на каждые 100 г сухого вещества. Компост считается готовым, когда содержание азота в 1 м³ компоста достигает 300 г. О микробиологических процессах судят по изменениям, происходящим в коре при ее хранении по соотношению углерода и азота (C:N).

Для понимания закономерностей в изменении содержания азота при биологической деструкции полезно привлечь данные из литературы, касающиеся изучению микробиологических процессов, протекающих в мертвой древесине и коре (пни, валеж) в природе. В работе [10] установлено, что по мере дест-

рукции древесины и прикрепленной к пню коры концентрация азота (на единицу сухой массы) в первые 10 лет увеличивается, что связано с низкой скоростью его вымывания, а также с фиксацией азота из атмосферы азотфиксирующими бактериями или его переносом филаментными грибами из других природных резервуаров (например, из почвы) в зону биодеструкции (разрушения). Изучение динамики биогенных элементов в процессе разложения валежа в среднетаежных ельниках исследованы в диссертации И. В. Ромашкина³.

Роль коры в процессе разложения древесины в природных условиях описана в работе [31].

О стимуляции процессов азотфиксации при разложении мертвой древесины и коры сообщается в статьях [32, 33, 34]. Американские исследователи [34, 35], изучая потенциал азотфиксации, отметили, что в древесине, пораженной бурой деструктивной гнилью, процессы азотфиксации проходят активнее, вероятно, в связи с тесной взаимосвязью между микоризобразующими и азотфиксирующими организмами. В работах У. Меррилла и Е. Коулинга [36], а также М. Ларсена [35] с соавторами отмечено, что это явление, вероятно, позволяет сглаживать недостаток азота, необходимого для вегетативного роста и генеративного развития грибов, заселяющих разлагающуюся древесину. Во многих исследованиях феномен накопления азота в процессе разложения кородревесных субстратов обусловлен именно деятельностью азотфиксирующих бактерий [37, 38]. Предполагается, что влияние азотфиксации на процессы разложения в валеже и других кородревесных субстратах может быть весьма существенным [39, 40].

Кородревесные субстраты имеют высокие исходные значения соотношения C:N по сравнению с опадом. Снижение этого показателя происходит по большей части в связи накоплением азота параллельно с потерей углеродосодержащих соединений [41, 42]. Это предполагает, что скорость разложения кородревесных субстратов и взаимосвязанная с ним динамика азота обусловлены видоспецифичными особенностями древесных растений, в частности, соотношением коры и древесины и их исходным химическим составом [43], а также видовым составом дереворазрушающей биоты и ксилофильного сообщества в целом [44].

³Ромашкин И. В. Динамика биогенных элементов в процессе разложения валежа в среднетаежных ельниках: дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2021. 167 с.

Факт того, что содержание азота в коре значительно выше по сравнению с этим показателем в древесине, обусловлено большим количеством живых клеток в составе флоэмы^{4,5} [45]. Наибольшие значения концентрации азота на единицу массы и объема коры найдены у березы (0,95 и 0,69 % соответственно). Далее эти показатели снижались в ряду: осина (0,74 и 0,46 %) > сосна и ель (0,61 и 0,31 %) > лиственница (0,20 и 0,11 %). Концентрация азота увеличивается при возрастании доли флоэмы в составе коры [46]. Кора хвойных видов имеет меньшие концентрации N по сравнению с корой лиственных [47, 48]. В процессе разложения валежа концентрация азота в нем возрастала или оставалась без изменений в зависимости от видовой принадлежности (хвойные и лиственные), фракции ствола (кора и древесина) и способа расчета (на единицы массы и объема)⁶.

Микробиологические и биохимические процессы, происходящие при разложении коры и валежа в природных условиях, аналогичны процессам, протекающим в кородревесных отходах, длительно хранящихся в отвалах, а также в свежей коре при компостировании в буртах с добавлением азота, только указанные процессы в отвалах идут значительно медленнее. По данным авторов [45, 49], соотношение C:N в зрелом компосте – 68, в свежей коре – 140, коре с отвалов – около 70. Таким образом, по величинам соотношения C:N, кору с отвалов можно считать незрелым коровым компостом и после соответствующей подготовки использовать в качестве грунта. Чем дольше кора пролежала в отвалах, тем меньше требуется азота для достижения рекомендуемого соотношения C:N. После просеивания данного продукта от неразложившихся остатков получают высококачественный компост, содержащий азот, фосфор, калий, кальций и гумус. Причем в полученном таким образом корокомпосте гумусообразующих веществ на 20 % больше, чем в торфе, а наличие в нем большого количества кальция (в пересчете на оксид кальция) способствует улучшению кислых почв. Содержащийся в компосте азот находится

в «медленно действующей форме», так что приготовленные на его основе удобрения обладают пролонгированным действием. Приготовленный таким способом корокомпост применялся авторами в тепличных хозяйствах для выращивания огурцов. В качестве опытных образцов использовали чистый корокомпост и корокомпост с добавлением торфяного субстрата в различных соотношениях. Проведенные исследования показали, что частичная замена торфа коровыми компостами позволила повысить урожайность огурцов до 25 %. Выращенные на грунтах с добавкой компостированной коры овощи отличались повышенной питательной ценностью и устойчивостью к корневым гнилям. По итогам своих исследований авторы рекомендуют шире использовать отходы коры деревоперерабатывающих предприятий для нужд сельского и тепличного хозяйств.

Следует отметить, что перечисленные выше методы и примеры компостирования кородревесных отходов были основаны на стимуляции естественной микробиоты.

Как правило, короотходы, находящиеся в отвалах, характеризуют следующими показателями: реакция среды солевой вытяжки (ГОСТ 27979-88); содержание золы (ГОСТ 26714-85), органического вещества расчетным методом, общего азота (ГОСТ 26715-853), общего фосфора (ГОСТ 26717-85); минерализация органического вещества (ГОСТ 26715-85), интенсивность разложения целлюлозы⁷. Для определения фитотоксичности водной вытяжки короотходов, а также короотходов, внесенных в почву, используют метод проростков⁸.

3. *Промышленные биотехнологии трансформации кородревесных отходов длительного хранения.* Заслуживает внимания крупномасштабный опыт утилизации кородревесных отходов длительного хранения, накопленный в Пермском крае. Разработаны способы использования ресурсного потенциала кородревесных отходов на короотвале, занимающем площадь 20,7 га вместимостью 8 млн м³ на предприятии ОАО «Соликамскбумпром», ориентированном на производство продукции из хвойной древесины.

⁴Апостолов С. А. Новый справочник химика и технолога. Ч. 2: Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ: справочное издание. Под ред. В. А. Столярова. СПб.: Профessional, 2006. 1142 с.

⁵Фаустова Н. М. Химический состав коры и древесины осины: дис. ... канд. хим. наук. СПб., 2005. 208 с.

⁶Ромашкин И. В. Указ. соч.

⁷Определение интенсивности разложения целлюлозы в почве по методу Е. Н. Мишустина и А. Н. Петровой.

[Электронный ресурс]. URL: https://studref.com/370317/agropromyshlennost/opredelenie_intensivnosti_razlozheniya_tsellyulozy_pochve_metodu_mishustina_petrovoy (дата обращения: 20.04.2022).

⁸Биотест на проростках семян редиса [Электронный ресурс]. URL: https://studbooks.net/855109/estestvoznaniye/biotest_prorostkah_semyan_redisa#:~:text=Биотест%20на%20проростках%20семян%20редиса,с%20контролем%20выращенное%20в%20процентах (дата обращения: 20.04.2022).

Исследован химический состав и фитотоксичность кородревесных отходов различного срока хранения: 1-3 года; 3-5; 5-10 и более 10 лет. Установлена безопасность отходов по содержанию тяжелых металлов. Показано наличие биогенных элементов в составе кородревесных отходов (азота, фосфора, калия), отсутствие угнетения роста и размножения растений при выращивании их на почвенных смесях, содержащих кородревесные отходы. Наилучшие результаты для роста растений были показаны при использовании в составе почвенных смесей кородревесных отходов 3-5-летнего срока хранения. Разработана технологическая схема получения рекультивационных материалов, мелиорантов и органоминеральных удобрений, главным образом, для озеленения территорий [50].

Проведены многолетние исследования по биотехнологической переработке кородревесных отходов Краснокамского ЦБК в Пермском крае. Несмотря на то, что комбинат был закрыт в 2005 г., на территории г. Краснокамск в прибрежной полосе рек Кама и М. Ласьва остается неликвидированным короотвал площадью 22,3 га. Заслуживает высокой оценки предложенный авторами алгоритм исследования. На первом этапе было проведено исследование толщ короотвала путем бурения. В отобранных на разных глубинах короотвала пробах определяли минеральный состав, влажность и кислотность, а также исследован состав аэробной микробиоты в поверхностных слоях короотвала. Вопреки ожидаемому увеличению степени гумификации кородревесных отходов с глубиной и временем их хранения, в толще короотвала не обнаружен грунтоподобный материал с полностью гумифицированной твердой фазой, что связали с нахождением на глубине 8,5-11,0 метров в толще короотвала водоносных пластов и оводнением материала (вероятно, вначале отходы складировались в низины, которые впоследствии были затоплены водой). Во всех этих случаях, как отмечают авторы, в исследуемых образцах наблюдали сохранение древесной структуры. Например, материал образца, поднятого с глубины 18 м, был менее подвержен биодеструкции, чем более свежие поверхностные слои кородревесных отходов. Полученные данные свидетельствовали о глубоком торможении процессов биологического разложения субстрата в условиях сильного оводнения и отсутствия кислорода. Особенность состояния субстрата в условиях оводнения сказалась на его химическом составе, отобранном на

различных глубинах. Была показана нехватка азота и фосфора, что, в свою очередь, негативно сказалось на развитии микробиоты. Авторами был предложен алгоритм интенсификации процессов биодеструкции, заключающийся в оптимизации минерального состава и кислотности среды в пластах кородревесных отходов и интенсификации массообменных процессов, включая принудительную аэрацию и увлажнение; изучение аборигенной микробиоты; создание искусственных консорциумов микроорганизмов-биодеструкторов из родов *Streptomyces* и *Cellulomonas* [51].

Этим же авторским коллективом проведена оценка безопасности и эффективности применения искусственных грунтов, полученных путем биоконсервации кородревесных отходов длительного хранения, для выращивания культурных растений. Была показана эффективность использования биотрансформированных кородревесных отходов для роста томатов, однако потребовалась предпосевная обработка семян фунгицидным препаратом «Инканон» вследствие наличия в искусственном питательном субстрате повышенного титра микромицетов, присутствие которых неблагоприятно отражается на развитии растений [52].

Разработан метод утилизации и переработки материала короотвала – кородревесных отходов целлюлозно-бумажных и деревообрабатывающих производств с получением органического удобрения. Способ переработки кородревесных отходов заключается в том, что в толщу короотвала вводили активирующий раствор, содержащий биогенные элементы и искусственные ассоциации микроорганизмов с целлюлолитической и лигнинолитической активностями, а также проводилась аэрация среды атмосферным воздухом. Технологическая линия представляет собой сеть биореакторов, связанных между собой трубопроводами и погруженных в тело короотвала. Сами биореакторы представляют собой цилиндрические перфорированные емкости, снабженные системой подводящих труб, через которые периодически подается активирующий раствор и производится аэрация. Периодически откачиваемая из внутренней части биореакторов образующаяся оживленная фаза представляет собой жидкое биоудобрение. Таким образом, переработка кородревесных отходов происходит непосредственно в теле короотвала, при этом многократно ускоряется процесс биодеструкции кородревесных отходов с получением органических удобрений [53].

Разработан иной способ переработки и утилизации короотвала, являющегося продуктом отхода на целлюлозно-бумажных комбинатах. В образованный короотвал вводили осадки сточных вод очистных сооружений (влажность 92-96 %, органическое вещество 62-66 масс.%; общий азот 5,6-7,3 масс.%, общий фосфор 4,8-6,5 масс.%) в соотношении кора:реагент соответственно 8:2 с последующей аэрацией короотвала атмосферным воздухом, при этом в качестве разбавителя для реагента использовали дренажные воды короотвала, а для получения органического удобрения процесс прокачки тела короотвала реагентом и воздухом повторяли несколько раз. Предложенный способ позволяет сократить время ликвидации тела короотвала и получить на основе кородревесных отходов органические удобрения [54].

На наш взгляд, для ускоренной биотрансформации кородревесных отходов длительного срока хранения целесообразно применять положительный опыт по твердофазной ферментации соломы, рисовой шелухи, опилок и других сельскохозяйственных и древесных отходов с помощью ксилотрофных грибов, который успешно применялся для получения белково-углеводных кормовых добавок для сельскохозяйственных животных [55, 56].

4. *Ксилотрофные грибы – природные деструкторы древесины, перспективные агенты для биотрансформации кородревесного сырья.* Грибы, развивающиеся на древесине, известны как дереворазрушающие, ксилотрофы, ксилофилы, ксилофиты, лигнофилы, ксилобионты. С таксономической точки зрения, группа ксилотрофных грибов достаточно разнообразна и включает виды различной систематической принадлежности (*Ascomycota*, *Deuteromycota*, *Basidiomycota*). Ксилотрофы проявляют экологическую гетерогенность, связанную с обитанием грибов на древесине разной степени разложения и продуктах биологического распада древесины, образуя узкоспециализированные группы (бурой гнили, белой гнили, мягкой гнили, смешанной гнили и пр.) [57].

Ведущая роль в разрушении лигноцеллюлозного комплекса растений принадлежит ксилотрофным базидиальным грибам, которые обладают широким спектром специфических окислительных ферментов и поэтому успешно колонизируют древесные субстраты. Значительное разнообразие биоты этой трофической

группы грибов отмечает М. А. Сафонов [58]. Например, в горной части Урала насчитывается 944 вида, в Финляндии и Эстонии описано 744 вида, в Южном Приуралье отмечено 307 видов дереворазрушающих базидиомицетов [58]. Для лесных экосистем лесостепи правобережного Поволжья описано 249 видов ксилотрофных базидиомицетов, относящихся к 99 родам, 40 семействам, 10 порядкам и 3 классам: *Agaricomycetes*, *Dacrymycetes*, *Tremellomycetes*⁹. Для Республики Коми известно 392 вида дереворазрушающих базидиомицетов [59].

Ведущая роль в природных экосистемах принадлежит афиллофоровым грибам, которые составляют более половины известных дереворазрушающих грибов. По данным Гильбертсона [32], среди ксилотрофных базидиомицетов Северной Америки афиллофоровые грибы составляют 57 % от общего числа видов, шляпочные – 37 %. По подсчетам В. А. Мухина [60], 75 % всех дереворазрушающих базидиомицетов, известных на территории бывшего СССР, составляют афиллофоровые грибы, 23 % – агариковые.

Благодаря современным методам молекулярного анализа (SDS-PAGE, RAPD, RFLP, видоспецифическая праймирующая ПЦР, секвенирование ITS-рДНК, метабаркодирование ДНК) видовой состав дереворазрушающих грибов расширяется и уточняется [61, 62]. Ф. Крах с соавторами [63] провели комплексный филогенетический анализ с использованием базы данных по типам гниения и деревьям-хозяевам и установили 1157 видов из 14 отрядов базидиомицетов (126 видов грибов, вызывающих бурую гниль, и 1031 вид грибов, вызывающих белую гниль).

В настоящее время активно проводятся исследования по скринингу и оценке лигнолитического и деградационного потенциалов грибов белой гнили с целью выбора наиболее перспективных штаммов для утилизации древесных и кородревесных отходов.

Для проведения биотехнологических исследований штаммы дереворазрушающих грибов, охватывающие широкий таксономический и географический диапазоны со сходными экологическими нишами, в основном получают из различных коллекций культур для изучения общих закономерностей морфологических признаков, биохимических и физиологических

⁹Ильина Г. В. Эколого-физиологический потенциал природных изолятов ксилотрофных базидиомицетов: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Саратов, 2011. 48 с.

свойств грибов. Из коллекции культур Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург) были исследованы более 520 культур 330 видов высших грибов базидиомицетов, принадлежащих к различным таксономическим и экологическим группам [64]. Из коллекции мицелиальных культур дереворазрушающих базидиомицетов Г. В. Ильина¹⁰ исследовала 215 штаммов 44 видов ксилотрофных базидиомицетов, относящихся к разным семействам порядков: *Hymenochaetales*, *Polyporales*, *Russulales*, *Agaricales*, *Auriculariales*. Изучено 34 сапротрофных базидиомицетных изолята 20 видов, полученных из коллекции культур Лесной службы США в Центре исследований лесной микологии (в г. Мэдисон, штат Висконсин) [65].

Установлено, что грибы «белой гнили» более устойчивы к фунгитоксичным веществам фенольной природы, чем грибы, вызывающие «бурую гниль», вследствие продуцирования ими полифенолоксидаз, разрушающих лигнин [66]. Поэтому они являются наиболее перспективными претендентами, которые должны быть исследованы в первую очередь как агенты для разрушения кородревесных отходов.

Т. Ли с коллегами [67] провели анализ 8089 научных статей по дереворазрушающим грибам, опубликованных в журналах, входящих в Web of Science с 2013 по 2020 год, и показали, что исследования в этой области в основном проводятся в Северной Европе, США и Китае. По данной проблематике наиболее популярными категориями международной базы данных WoS были биотехнология, прикладная микробиология, науки об окружающей среде и микробиология (76,93 %). Двумя ведущими журналами с наибольшим количеством цитирований являются Bioresource Technology и Applied Environmental Microbiology. Авторы приходят к выводу, что дереворазрушающие грибы наиболее активно применяются в процессах промышленного производства и в целях ремедиации загрязненных почв.

Примеры использования ксилотрофных грибов в биотехнологии обобщены нами в таблице.

Обращает на себя факт, что в зарубежной литературе отсутствуют статьи, конкретно касающиеся использования грибов в процессе биоконверсии кородревесных отходов длительного хранения. Причиной этого может быть факт отсутствия в развитых зарубежных странах полигонов с длительно хранящимися отходами древесины и коры. Наиболее близ-

кими и полезными для анализа являются работы по проведению экспериментов по разложению валежника и мертвой древесины в природных условиях. Например, большой интерес для разработки промышленных биотехнологий переработки кородревесных отходов представляют собой результаты упомянутой выше совместной работы российских и финских специалистов по изучению разложения коры в составе порубочных остатков после сплошных рубок в среднетаежных лесах. К сожалению, в работе не исследован вклад ксилотрофных грибов в эти процессы [10].

При масштабировании процессов биотрансформации кородревесных отходов с участием ксилотрофных грибов возможно использование метода твердофазной ферментации (ТФФ).

При ТФФ микробиологические процессы происходят на поверхности твердых субстратов с относительно низким содержанием влаги. В таких условиях ксилотрофные грибы успешно вовлекаются в процессы биоконверсии растительного сырья для получения различных продуктов, включая ферменты, органические кислоты, биоудобрения, биопрепараты, биосурфактанты, биоэтанол, ароматические соединения, корма для животных, пигменты, витамины и антибиотики [75, 76, 77].

Биоконверсия лигноцеллюлозных субстратов методом ТФФ с использованием культур съедобных базидиомицетов позволяет эффективно совмещать технологии утилизации лигноцеллюлозных отходов с получением кормовых и высококачественных пищевых продуктов, а также биологически активных метаболитов, при этом отработанные ферментированные субстраты, обогащенные мицелиальной биомассой, могут быть использованы в качестве биоудобрений [68]. Предложен способ приготовления селективных субстратов, в том числе для получения плодовых тел базидиомицетов. Способ включает кислотную обработку лигноцеллюлозного сырья – отходов сельского хозяйства и лесоперерабатывающей промышленности – водными растворами минеральных или органических кислот с концентрацией 0,5-5 масс.% при температуре 80-135 °C и соотношении сырья к раствору кислоты от 1:2 до 1:8 в течение 30-60 мин, промывание водой и добавление к модифицированному лигноцеллюлозному сырью источника азота в концентрации 10-20 масс.% и мела или гипса в концентрации 2 масс.%.

¹⁰Там же.

Таблица – Биотехнологическое использование некоторых видов дереворазрушающих грибов /
Table – Biotechnological use of selected species of wood-destroying fungi

Вид / Species	Таксономическое положение / Taxonomic position	Штамм / Strain	Аспекты исследований и сфера применения / Aspects of research and scope of application	Источник / References
<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) P. Kumm	Basidiomycota Agaricomycotina Agaricomycetes	Не указан / Not specified	Получение биоудобрений в результате твердофазного культивирования на опилках / Obtaining biofertilizers as a result of solid-phase cultivation on sawdust	[68]
<i>Pleurotus pulmonarius</i> (Fr.) Quél.,	Agaricomycetidae Agaricales Pleurotaceae	PP-3.2	Активность лакказы и марганец-пероксидазы / Activity of laccase and manganese peroxidase. Биодеградация триклозана / Biodegradation of triclosan	[69]
<i>Pleurotus eryngii</i> (DC.) Quél.	Pleurotus	Не указан / Not specified	Биоконверсия субстратов на основе древесной зелени пихты и биомассы тополя балзамического для использования в качестве белковой кормовой добавки / Bioconversion of substrates based on fir tree greens and balsamic poplar biomass for use as a protein feed additive	[70]
<i>Trametes versicolor</i> (L.) Lloyd	Basidiomycota Agaricomycotina Agaricomycetes Polyporales Polyporaceae Trametes	Не указан / Not specified	Получение биоудобрений в результате твердофазного культивирования на опилках / Obtaining biofertilizers as a result of solid-phase cultivation on sawdust	[68]
			Создание технологии биосинтеза фермента лакказы / Development of the technology of biosynthesis of the enzyme laccase	Т. В. Русинова ¹¹
			Активность лакказы и марганец-пероксидазы / Activity of laccase and manganese peroxidase. Биодеградация триклозана / Biodegradation of triclosan	[69]
			Разложение гидрофобных пестицидов / Decomposition of hydrophobic pesticides. Биоремедиация сред, загрязненных гидрофобными пестицидами / Bioremediation of the environment contaminated with hydrophobic pesticides	[71]
<i>Trametes hirsute</i> (Wulfen) Pilat	Basidiomycota Agaricomycotina Agaricomycetes Polyporales Polyporaceae Trametes	ATCC 42530	Удаление пестицидов из сточных вод грибом, иммобилизованным на древесной щепе / Removal of pesticides from wastewater by fungus immobilized on wood chips.	[72]
			Очистка сельскохозяйственных сточных вод, содержащих пестициды / Treatment of agricultural wastewater containing pesticides	
			Комплексное сравнительное исследование секретомов, протеомов и транскриптомов при его культивировании на средах различного состава / A comprehensive comparative study of secretomes, proteomes and transcriptomes during cultivation on the media of various compositions	
			Создание технологии биосинтеза фермента лакказы / The development of laccase enzyme biosynthesis technology	
<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst.	Basidiomycota Agaricomycotina Agaricomycetes Polyporales Fomitopsidaceae Fomitopsis	MT-17.24	Подбор питательной среды для получения ферментного препарата на основе гриба / Selection of a nutrient medium for obtaining an enzyme preparation based on the fungus.	[73]
			Биодеструкция полианной целлюлозы, применяемой в качестве структурообразователя технологических жидкостей в процессе строительства и ремонта нефтяных и газовых скважин / Biodegradation of polyanion cellulose used as a structure-forming agent of process fluids during the construction and repair of oil and gas wells	
			Изучены ростовые характеристики на целлюлозосодержащих агаризованных средах и растительных субстратах с добавлением твердой фазы после гидродинамической активации хвой пихты и опилок березы / Growth characteristics were studied on cellulose-containing agarized media and plant substrates with the addition of a solid phase after hydrodynamic activation of fir needles and birch sawdust	

¹¹Русинова Т. В. Разработка технологии биосинтеза фермента лакказы базидиальными грибами рода *Trametes*: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2007. 20 с.

¹²Васина Д. В. Изучение организации мультигенного семейства лакказ базидиального гриба *Trametes hirsuta* – эффективного деструктора лигнина: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2015. 26 с.

¹³Русинова Т. В. Указ. соч.

Селективный субстрат получен этим способом, обеспечивающим повышение урожайности плодовых тел базидиомицетов [78].

Метод твердофазной ферментации имитирует естественные микробиологические процессы, такие как компостирование и силосование, и открывает новые возможности биоконверсии твердых органических отходов путем производства биологически активных метаболитов как в лабораторных, так и промышленных масштабах [79].

Для биотрансформации отходов растительного сырья успешно применяются специальные биореакторы для твердофазной ферментации. Химический состав отходов и их физическое состояние обуславливают применение соответствующих по конструкции биореакторов. Выделяют шесть типов твердофазных ферментеров: 1) биореактор типа лотка; 2) биореактор с уплотненным слоем; 3) биореактор типа вращающегося барабана; 4) качающийся твердофазный биореактор; 5) биореактор в виде емкости, снабженной мешалкой; 6) твердофазный биореактор с псевдоожиженным слоем [80].

5. *Актуальность проблемы утилизации кородревесных отходов длительного хранения в Республике Коми.* Проблема утилизации кородревесных отходов длительного хранения остро стоит в Республике Коми. В черте г. Сыктывкар почти 100 лет с 1926 г. существует короотвал Сыктывкарского лесопильно-деревообрабатывающего комбината (в настоящее время ООО «Сыктывкарский ЛДК»). По информации администрации МО ГО «Сыктывкар», основное количество отходов производства (кора, опилки, щепа, обрезки досок) было накоплено в период 1950-2010 гг. С 1990-х по 2000-е годы на свалку, по-видимому, вывозили и смёт с улиц города – песок, камни, бытовой мусор, листья, ветки. В настоящее время короотвал занимает площадь примерно 10 гектаров высотой 20-25 метров. Объем кородревесных отходов оценивается около 1 млн м³.

По материалам Информагентства БНК¹⁴, в Республике Коми обсуждались различные варианты утилизации кородревесных отходов: сжигание на месте; сплав коры водным путем по р. Вычегда; сжигание на АО «Монди СЛПК»; использование полностью разложившихся кородревесных отходов в практических

целях в качестве искусственного питательного грунта. По проекту «Ликвидация склада коры» рядом с отвалом кородревесных отходов предполагалось строительство станции, которая бы сжигала опилки и кору, для производства тепла и электроэнергии. По сделанным в 2011-2012 гг. подсчетам, объема отходов свалки должно было хватить на 12-15 лет бесперебойной работы станции. Официально ТЭС была запущена в строй в ноябре 2015 г., станция работает и сейчас, но в качестве сырья использует свежие отходы лесопиления, а не отходы со свалки длительного хранения. Как оказалось, перегнившие кородревесные отходы не пригодны для сжигания. Тем не менее, согласно Стратегии экологической безопасности России до 2025 года необходимо ликвидировать накопленные отходы, возникшие результате хозяйственной деятельности и наносящие вред окружающей среде. Таким образом, судьба отвала кородревесных отходов сохраняет свою актуальность и сегодня.

Для оценки пригодности кородревесных отходов длительного хранения, накопленных на ООО «Сыктывкарский ЛДК» для получения полезных продуктов путем ее биоконверсии, необходимо решить следующие первоочередные задачи:

1. Определение состава органического вещества по градиенту высоты короотвала: целлюлоза, лигнин, гемицеллюлоза, гумус, влажность, кислотность, общий азот и фосфор и другие показатели.

2. Определение класса опасности образцов кородревесных отходов, отобранных на разных глубинах. Определение содержания фенола и тяжелых металлов.

3. Определение ферментативной активности в образцах отходов, отобранных на различных глубинах объекта.

4. Выделение и идентификация природных штаммов микроорганизмов, участвующих в биотрансформации кородревесных отходов в естественных условиях.

5. Разработка метода ТФФ кородревесных отходов с помощью целлюлолитических и лигнолитических микроорганизмов и ксилотрофных грибов с целью получения почвоподобных субстратов и удобрений для использования в сельском хозяйстве, дорожном строительстве для формирования откосов земляного полотна автомобильных дорог, рекультивации земель

¹⁴Сжечь, вывезти или оставить: как хотели и как собираются ликвидировать гигантскую свалку коры в сыктывкарском Лесозаводе. Информационное агентство БНК. 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bnkomi.ru/data/news/102305/> (дата обращения: 20.04.2021).

в нефтегазовой промышленности и других практически важных целях, таких как получение плодовых тел съедобных ксилотрофных грибов, белково-углеводных кормовых добавок и ценных метаболитов ксилотрофных грибов для медицины.

В лаборатории биохимии и биотехнологии Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН накоплен значительный опыт в использовании метода твердофазной ферментации целлюлозосодержащего сырья с помощью ксилотрофных грибов и смешанных культур по получению новых белково-углеводных кормовых добавок для жвачных животных [55], повышения реакционной способности лигноцеллюлозы к ферментативному гидролизу при получении биотоплива (биоэтанола) из непищевого сырья [75, 49], получения ценных биологически активных веществ из плодовых тел и мицелия ксилотрофных грибов. Этот опыт может быть использован при разработке научных основ технологии биотрансформации кородревесных отходов длительного хранения.

Заключение. Проведен анализ отечественной и зарубежной литературы по вопросу утилизации коры и кородревесных отходов деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности.

По данным Центрального научно-исследовательского института механической обработки древесины¹⁵, общее количество коры, получаемой на предприятиях при окорке древесины, с учетом потери коры в процессе лесозаготовок, изменяется от 7 до 15 % объема ликвидной древесины. Такой большой объем коры, образующийся в процессах деревообработки, определяет актуальность проблемы вовлечения коры как вторичного растительного сырья в процессы ее переработки или утилизации. В настоящее время используются различные методы применения коры и кородревесных отходов. К традиционным методам относят: вывоз в отвалы, производство древесноволокнистых и древесно-стружечных плит, топливных брикетов, активных углей; сорбентов нефти и нефтепродуктов, получение экстрактивных веществ технического, сельскохозяйственного и медицинского назначения. Кору пробкового дуба используют для производства пробки.

Хотя кора является низкосортным топливом с высоким содержанием влаги и золы,

сжигание является одним из основных методов утилизации коровых отходов. В настоящее время вместе с основным топливом сжигается около 40 % текущих запасов коры. Эффективная утилизация кородревесных отходов термическими способами с получением тепловой энергии или технологического пара на производственные нужды возможна только в случае, если влажность отходов будет составлять не более 60 %.

Несмотря на имеющиеся методы переработки свежей коры в Российской Федерации пока отсутствуют масштабные, наукоемкие, экономически рентабельные технологии по ее переработке, и недостаточно развит рынок потребления продуктов ее переработки, что приводит к образованию свалок кородревесных отходов длительного срока хранения. Поскольку кородревесные отходы длительного хранения имеют высокую влажность, к ним не применимы термические методы обезвреживания (сжигание).

Утилизация кородревесных отходов длительного срока хранения стала возможна с развитием биотехнологических методов. Наиболее простым в технологическом исполнении методом является биокомпостирование кородревесных отходов с применением минеральных солей с получением корокомпостов в качестве органического удобрения с высокими потребительскими свойствами. Данный метод основан на ускорении микробиологических процессов разложения кородревесного субстрата путем стимуляции природных консорциумов микроорганизмов. К современным биотехнологическим методам следует также отнести различные подходы, позволяющие интенсифицировать процессы биодеструкции кородревесных отходов в короотвалах длительного хранения за счет введения в толщу короотвала искусственных ассоциаций микроорганизмов – деструкторов коры и древесины, оптимизации минерального состава, кислотности среды, а также осуществление принудительной аэрации для роста микроорганизмов. Имеются примеры создания биотехнических комплексов, когда в тело короотвала вводится сеть связанных между собой биореакторов, в которые подается активирующий раствор, содержащий микроорганизмы-биодеструкторы и биофильные элементы.

¹⁵Отходы окорки. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru-ecology.info/term/28225/> (дата обращения: 20.04.2022).

Поскольку в биотехнологических разработках важны как биоинженерные решения, так и наличие высокоактивных штаммов-продуцентов, в отечественной и зарубежной литературе большое внимание уделяется исследованию ксилотрофных грибов-продуцентов ферментов лигнолитического комплекса и их использованию в процессах биоконверсии отходов лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. Как показывает анализ литературы, в качестве метода вовлечения ксилотрофных грибов в процессы биотрансформации лигноцеллюлозного сырья весьма многообещающим видится твердофазная ферментация, аппаратное оформление которой позволяет масштабировать процессы на промышленном уровне.

Для решения проблемы утилизации коры и кородревесных отходов длительного хранения следует продолжить фундаментальные и прикладные исследования с непосредственным участием предприятий реального сектора экономики. На примере коротвала ООО «Сыктывкарский ЛДК» предложен алгоритм утилизации кородревесных отходов длительного срока хранения биотехнологическими методами с целью решения экологической проблемы загрязнения окружающей среды отходами деревообработки и получения ценных продуктов для сельского хозяйства, дорожного строительства, медицины и пищевой промышленности.

Список литературы

1. Wenig C., Dunlop J. W. C., Hehemeyer-Cürten J., Reppe F. J., Horbelt N., Krauthausen K., Fratzl P., Eder M. Advanced materials design based on waste wood and bark. *Phil. Trans. R. Soc.* 2021;379(2206):20200345. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0345>
2. Альберг Н. И., Санжиева С. Е., Салхофер С. Комплексное устойчивое управление отходами. Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность. М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. 308 с.
3. Мохирев А. П., Безруких Ю. А., Медведев С. О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса, как фактор устойчивого природопользования. *Инженерный вестник Дона.* 2015;(2-2):13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24132495>
4. Михайлов К. Л., Гуцин В. А., Тараканов А. М. Организация сбора и переработки лесосечных отходов и дров на лесосеке. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал.* 2016;(6):98-106. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.6.98>
5. Мосягин В. И. Проблемы экологизации лесного комплекса. СПб.: ЛТА, 1999. 375 с.
6. Singh A., Singh A. Microbial degradation and value addition to food and agriculture waste. *Current Microbiology.* 2022;79:119. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00284-022-02809-5>
7. Tripathi N., Hills C. D., Singh R. S., Atkinson C. J. Biomass waste utilisation in low-carbon products: harnessing a major potential resource. *Climate and Atmospheric Science.* 2019;2:35. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0093-5>
8. Kumar A., Gautam A., Dutt D. Biotechnological transformation of lignocellulosic biomass in to industrial products: An Overview. *Advanced in Bioscience and Biotechnology.* 2016;7(3):149-168. DOI: <https://doi.org/10.4236/abb.2016.73014>
9. Симонов М. Н., Торговников Г. И. Окорочные станки. Устройство и эксплуатация. М.: Лесная промышленность, 1990. 182 с.
10. Капица Е. А., Шорохова Е. В., Ромашкин И. В., Галибина Н. А., Никерова К. М., Казарцев И. А. Разложение коры в составе порубочных остатков после сплошных рубок в среднетаежных лесах. *Лесоведение.* 2019;(1):38-48. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0024114819010066>
11. Соболева С. В., Ченцова Л. И., Воронин В. М. Переработка коры осины с получением биологически активных веществ и кормовых продуктов: монография. Красноярск: СибГТУ, 2013. 77 с.
12. Pásztor Z., Mohácsiné I. R., Gorbacheva G., Börcsök Z. The utilization of tree bark. *BioResources.* 2016;11(3):7859-7888. URL: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/the-utilization-of-tree-bark/>
13. Белякова А. Ю., Погребняк А. В., Погребняк Л. В. Физико-химические и биологические свойства компонентов внешней коры березы. *Современные проблемы науки и образования.* 2015;(2-2):492. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24921354>
14. Дейнеко И. П., Дейнеко И. В., Белов Л. П. Исследование химического става коры сосны. *Химия растительного сырья.* 2007;(1):19-24. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9482860>
15. Королев К. Г., Ломовский О. И. Способ получения биологически активной суммы тритерпеновых кислот: пат. № 2303589 Российская Федерация. № 2006107808/04: заяв. 13.03.2006; опубл. 27.07.2007. Бюл. № 21. 7 с.
16. Kuznetsov B. N., Efremov A. A., Levanskii V. A., Kuznetsova S. A., Polezhaeva N. I., Shilkina T. A., Krotova I. V. The using of non-isobaric pre-hydrolysis for the isolation of organic compounds from wood and bark. *Bioresource Technology.* 1996;58(2):181-188. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(96\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(96)00097-1)

17. Левданский В. А., Полежаева Н. И., Шилкина Т. А., Кузнецов Б. Н. Выделение экстрактивных веществ из коры лиственницы и пихты, активированной водяным паром в присутствии хлорида аммония. Химия растительного сырья. 2001;(4):87-91. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9337191>
18. Jiang W., Adamopoulos S., Hosseinpourpia R., Žigon J., Petric M., Šernek M., Medved S. Utilization of partially liquefied bark for production of particleboards. Appl. Sci. 2020;10(15):5253. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10155253>
19. Роденков В. П., Столяров В. Ф., Турбин В. В., Воробьев Е. А., Коновалов Н. М., Антонов А. Н. Способ получения активированного угля из древесных опилок и мелкой щепы и установка для его осуществления: пат. № 2104926 Российская Федерация. № 96113701/25: заяв. 04.07.1996; опубл. 20.02.1998.
20. Кочева Л. С., Карманов А. П., Кочанова А. В. Способ получения сорбента нефти и нефтепродуктов: пат. № 2638354 Российская Федерация. № 2016138920: заявл. 03.10.2016; опубл. 13.12.2017. Бюл. № 35. 7 с.
21. Lehtikangas P. Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. Biomass and Bioenergy. 2001;20(5):351-360. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00092-1](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00092-1)
22. Yao J.-L., Fang S.-M., Liu R., Oppong M. B., Liu E.-W., Fan G.-W., Zhang H. A Review on the Terpenes from Genus *Vitex*. Molecules. 2016;21:1179. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules21091179>
23. Володин В. В., Ву Тхи Л., Володина С. О., Кузнецов А. Н. Экдистероидсодержащие растения национального парка Кук Фьонг (Северный Вьетнам). Известия Коми научного центра УрО РАН. 2018;3(35):46-53. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35728633>
24. Kamperidou V., Lykidis C., Barmoutis P. Utilization of wood and bark of fast-growing hardwood species in energy production. J. For. Sci. 2018;64(4):164-170. DOI: <https://doi.org/10.17221/141/2017-JFS>
25. Ширинкина Е. С. Минимизация воздействия кородревесных отходов целлюлозно-бумажной промышленности на окружающую среду. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2014;(2):108-118. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21943543>
26. Кайгородов Р. В. Влияние кородревесных отходов на биологическую активность техногенных поверхностных образований придорожных пространств. Успехи современного естествознания. 2019;(11):83-88. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41435678>
27. Веприкова Е. В., Кузнецова С. А., Чесноков Н. В., Кузнецов Б. Н. Получение органоминеральных удобрений на основе древесной коры (обзор). Журнал Сибирского федерального университета. Химия. 2016;9(4):414-429. DOI: <https://doi.org/10.17516/1998-2836-2016-9-4-414-429>
28. Мокрушина Н. С., Тарасова Т. С., Дармов И. В. Выделение микромицетов, перспективных для разработки на их основе биопрепарата для ускоренной переработки древесных отходов в удобрение. Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2010;(2-2):430-434. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15529284>
29. Девятловская А. Н. Использование древесной коры в качестве тепличного грунта. Вестник КрасГАУ. 2010;(2):25-27. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14999093>
30. Девятловская А. Н., Журавлева Л. Н., Девятловский Н. В. Утилизация древесной коры деревообрабатывающих предприятий. Актуальные проблемы лесного комплекса. 2010;(27):51-54. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22696779>
31. Dossa G. G. O., Schaefer D., Zhang J.-L., Tao J.-C., Cao K.-F., Corlett R. T., Cunningham A. B., Xu J.-C., Cornelissen J. H. C., Harrison R. D. The cover uncovered: bark control over wood decomposition. Journal of Ecology. 2018;106:2147-2160.
32. Gilbertson R. L. Wood-Rotting Fungi of North America. Mycologia. 1980;72(1):1-49. DOI: <https://doi.org/10.1080/00275514.1980.12021153>
33. Griffiths B. S., Caul S. Migration of bacterial-feeding nematodes, but not proto-zoa, to decomposing grass residues. Biology and Fertility of Soils. 1993;15:201-207. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00361612>
34. Jurgensen M. F., Larsen M. J., Spano S. D., Harvey A. E., Gale M. R. Nitrogen fixation associated with increased wood decay in Douglas-fir residue. Forest Science. 1984;30:1038-1044.
35. Larsen M. J., Jurgensen M. F., Harvey A. E. N₂ fixation associated with wood decayed by some common fungi in western Montana. Canadian Journal of Forest Research. 1978;8(3):341-345. DOI: <https://doi.org/10.1139/X78-050>
36. Merrill W., Cowling E. B. Role of nitrogen in wood deterioration – Amount and distribution of nitrogen in fungi. Phytopathology. 1966;56:1083-1090.
37. Alban D. H., Pastor J. Decomposition of aspen, spruce, and pine boles on two sites in Minnesota. Canadian Journal of Forest Research. 1993;23 (9):1744-1749. DOI: <https://doi.org/10.1139/X93-220>
38. Laiho R., Prescott C. E. The contribution of coarse woody debris to carbon, nitrogen, and phosphorus cycles in three Rocky Mountain coniferous forests. Canadian Journal of Forest Research. 1999;29(10):1592-1603. DOI: <https://doi.org/10.1139/X99-132>
39. Larsen M. J., Jurgensen M. F., Harvey A. E. N₂ fixation in brown-rotted soil wood in an intermountain cedar-hemlock ecosystem. Forest Science. 1982;28(2):292-296.

40. Rinne K. T., Rajala T., Peltoniemi K., Chen J., Smolander A., Mäkipää R. Accumulation rates and sources of external nitrogen in decaying wood in a Norway spruce dominated forest. *Functional Ecology*. 2017;31(2):530-541. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12734>
41. Petrillo M., Cherubini P., Fravolini G., Marchetti M., Ascher-Jenull J., Schärer M., Synal H. A., Bertoldi D., Camin F., Larcher R., Egli M. Time since death and de-cay rate constants of Norway spruce and European larch deadwood in subalpine forests determined using dendrochronology and radiocarbon dating. *Biogeosciences*. 2016;13(5):1537-1552. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-13-1537-2016>
42. Strukelj M., Brais S., Quideau S. A., Angers V. A., Kebli H., Drapeau P., Oh S.-W. Chemical transformations in downed logs and snags of mixed boreal species during decomposition. *Canadian Journal of Forest Research*. 2013;43(9):785-798. DOI: <https://doi.org/10.1139/CJFR-2013-0086>
43. Laiho R., Prescott C. E. Decay and nutrient dynamics of coarse woody debris in northern coniferous forests: a synthesis. *Canadian Journal of Forest Research*. 2004;34(4):763-777. DOI: <https://doi.org/10.1139/X03-241>
44. Ruokolainen A., Shorohova E., Penttilä R., Kotkova V., Kushnevskaia H. A continuum of dead wood with various habitat elements maintains the diversity of wood-inhabiting fungi in an old-growth boreal forest. *European Journal of Forest Research*. 2018;137:707-718. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1135-y>
45. Дейнеко И. П., Фаустова Н. М. Элементный и групповой химический состав коры и древесины осины. *Химия растительного сырья*. 2015;(1):51-62. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24148922>
46. Полубояринов О. И., Сорокин А. М. Физические свойства сосновой коры и ее компонентов. *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 1997;3:70-74. Режим доступа: http://lesnoizhurnal.ru/issuesarchive/?ELEMENT_ID=70809
47. Palviainen M., Finér L. Decomposition and nutrient release from Norway spruce coarse roots and stumps – a 40-year chronosequence study. *Forest Ecology and Management*. 2015;358:1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2015.08.036>
48. Palviainen M., Finér L., Laiho R., Shorohova E., Kapitsa E., Vanha-Majamaa I. Carbon and nitrogen release from decomposing Scots pine, Norway spruce and silver birch stumps. *Forest Ecology and Management*. 2010;259(3):390-398. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2009.10.034>
49. Донцов А. Г. Разработка концепта биоэтанольного производства на платформе технологии биопалпинга. *Бутлеровские сообщения*. 2021;68(12):95-102. Режим доступа: <https://butlerov.com/files/reports/2021/vol68/12/95/21-68-12-95-.pdf>
50. Курило О. Н., Ширинкина Е. С., Вайсман Я. И. Снижение негативного воздействия короотвала целлюлозно-бумажного предприятия на окружающую среду путем использования кородревесных отходов длительного срока хранения. *Экология и промышленность России*. 2015;19(1):45-49. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22811217>
51. Максимов А. Ю., Максимова Ю. Г., Шилова А. В., Колесова О. В., Симонетти Дж. Исследование свойств и микробиологического состава кородревесных отходов короотвала г. Краснокамск. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология*. 2018;(4):98-109. DOI: <https://doi.org/10.15593/2224-9400/2018.4.08>
52. Максимов А. Ю., Шилова А. В., Лисовенко Н. Ю., Баландина С. Ю., Щетко В. А. Применение нового фунгицидного препарата инканон для предпосевной обработки семян при выращивании рассады томатов в искусственном грунте, полученном методом микробиологической переработки кородревесных отходов. *Вестник Пермского университета. Химия*. 2020;10(1):108-117. DOI: <https://doi.org/10.17072/2223-1838-2020-1-108-117>
53. Максимов А. Ю., Шилова А. В., Максимова Ю. Г. Способ переработки кородревесных отходов, биореактор и технологическая линия для осуществления способа: пат. № 2729366 Российская Федерация. № 2020111369: заяв. 18.03.2020; опубл. 06.08.2020. Бюл. № 22. 16 с.
54. Горелов В. В., Иларионов С. А., Басов В. Н., Кузовкина В. А., Басов А. В., Зонина Л. Д. Способ переработки короотвала и технологическая площадка для его осуществления: пат. № 2520022 Российская Федерация. № 2011136981/13: заявл. 08.09.2011; опубл. 20.06.2014. Бюл. 17. 9 с.
55. Биоконверсия целлюлозосодержащего сырья (Тр. Коми научного центра УрО Российской академии наук. № 125). Под ред. В. В. Володина. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1992. 73 с.
56. Куликова Н. А., Кляйн О. И., Степанова Е. В., Королева О. В. Использование базидиальных грибов в технологиях переработки и утилизации техногенных отходов: Фундаментальные и прикладные аспекты (Обзор). *Прикладная биохимия и микробиология*. 2011;47(6):619-634. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17238641>
57. Wendiro D., Wacoo A. P., Wise G. Identifying indigenous practices for cultivation of wild saprophytic mushrooms: responding to the need for sustainable utilization of natural resources. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 2019;15:64. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13002-019-0342-z>
58. Сафонов М. А. Комплексы дереворазрушающих базидиомицетов пойменных лесов Южного Предуралья (Оренбургская область). *Успехи современного естествознания*. 2015;(8):62-65. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24171678>

59. Паламарчук М. А. Ксилотрофные агарикоидные базидиомицеты Печоро-Илычского заповедника (Северный Урал). Хвойные бореальной зоны. 2009;26(1):67-71.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12330615>
60. Мухин В. А. Биота ксилотрофных базидиомицетов Западно-Сибирской равнины. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1993. 232 с.
61. Bari E., Karimi K., Aghajani H., Schmidt O., Zacheri S., Tajick-Ghanbary M. A., Juybari H. Z. Characterizations of tree-decay fungi by molecular and morphological investigations in an Iranian alandardeh forest. Maderas. Ciencia y tecnología. 2021;23(33). DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2021000100433>
62. Fukasawa Y. Ecological impacts of fungal wood decay types: A review of current knowledge and future research directions. Ecological Research Volume. 2021;36(6):910-931.
DOI: <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12260>
63. Krah F. S., Bässler C., Heibl C., Soghigian J., Schaefer H., Hibbett D. S. Evolutionary dynamics of host specialization in wood-decay fungi. BMC Evolutionary Biology. 2018;18:119.
DOI: <https://doi.org/10.1186/s12862-018-1229-7>
64. Фёдорова Т. В., Шахова Н. В., Клайн О. И., Глазунова О. А., Малошенок Л. Г., Куликова Н. А., Псурцева Н. В., Королёва О. В. Сравнительный анализ лигнолитического потенциала базидиальных грибов, принадлежащих к различным таксономическим и экологическим группам. Прикладная биохимия и микробиология. 2013;49(6):570-579. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20280611>
65. Lustenhouwer N., Maynard D. S., Bradford M. A., Lindner D. L., Oberle B., Zanne A. E., Crowther Th. W. A trait-based understanding of wood decomposition by fungi. PNAS. 2020;117(21):11551-11558.
DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1909166117>
66. Кононов Г. Н., Веревкин А. Н., Сердюкова Ю. В., Зайцев В. Д. Микелиз древесины, его продукты и их использование. I. Экологические аспекты микологического разрушения древесины. Лесной вестник. 2020;24(2):81-87. DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-2-81-87>
67. Li T., Cui L., Song X., Cui X., Wei Yu., Tang L., Mu Ya., Xu Z. Wood decay fungi: an analysis of world-wide research. Journal of Soils and Sediments. 2022;22:1688-1702 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03225-9>
68. Богородская А. В., Киселева О. В. Использование продуктов биоконверсии отходов деревообработки в качестве биоудобрений для ремедиации деградированных почв. Агрохимия. 2021;(2):86-93.
DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121020046>
69. Mallak A. M., Lakzian A., Khodaverdi E., Haghnia G. H., Mahmoudi S. Effect of *Pleurotus ostreatus* and *Trametes versicolor* on triclosan biodegradation and activity of laccase and manganese peroxidase enzymes. Microbial Pathogenesis. 2020;149(6):104473. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104473>
70. Mamaeva O. O., Isaeva E. V. Use of Post-Extraction Fir Wood Greenery Residues by the Bioconversion Method with the Production of Feed Additives. Forests. 2021;12(3):272. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12030272>
71. Hu K., Peris A., Toran J., Eljarrat E., Sarra M., Blanquez P., Caminal G. Exploring the degradation capability of *Trametes versicolor* on selected hydrophobic pesticides through setting sights simultaneously on culture broth and biological matrix. Chemosphere. 2020;250:126293.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126293>
72. Tišma M., Žnidaršič-Plazl P., Šelo G., Tolj I., Šperanda M., Bucić-Kojić A., Planinić M. *Trametes versicolor* in lignocellulose-based bioeconomy: State of the art, challenges and opportunities. Bioresour Technology. 2021;330:124997. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124997>
73. Зубченко А. В., Кожевникова Е. Ю., Барков А. В., Тополюк Ю. А., Шнырева А. В., Винокуров В. А., Магадова Л. А. Возможности использования базидиального гриба *Trametes hirsute* MT-17.24 в биодеструкции полианионной целлюлозы. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021;11(3):472-480.
DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-3-472-480>
74. Павлов И. Н., Литовка Ю. А., Литвинова Е. А., Петренко С. М., Эназаров Р. Х. Перспективы глубинного культивирования *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst. на гидродинамически активированных растительных отходах. Химия растительного сырья. 2020;(4):385-394.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44529560>
75. Володин В. В., Шергина Н. Н., Мартынов В. В., Володина С. О., Шубаков А. А., Кожевникова Е. Ю., Ширшова Т. И., Васильев Р. Г. Биотехнологический потенциал дереворазрушающих грибов для получения биотоплива. Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю. А. Овчинникова. 2021;17(4):11-23.
Режим доступа: <https://biorosinfo.ru/journal/>
76. Смирнов К. А., Алашкевич Ю. Л., Решетова Н. С. Особенности твердофазной ферментации. Химия растительного сырья. 2009;(3):161-164. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13008084&>
77. Sath P. K., Duhan S., Duhan J. S. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. Bioresour. Bioprocess. 2018;5(1):1-15. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0187-z>
78. Голышкин А. В., Альмяшева Н. Р., Краснополянская Л. М. Субстрат для культивирования ксилотрофных базидиомицетов и способ его получения с использованием методов химической модификации лигноцеллюлозного сырья: пат. № 2699991 Российская Федерация. № 2018139959: заяв. 13.11.2018; опубл. 11.09.2019. Бюл. № 26. 14 с.

79. Thomas L., Larroche C., Pandey A. Current developments in solid-state fermentation. *Biochem. Eng. J.* 2013;81:146-161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2013.10.013>

80. Кулишов Б. А., Ле Ань Туан, Канарский А. В. Утилизация отходов переработки растительного сырья в биореакторах для твердофазной ферментации. *Вестник Казанского технологического университета.* 2015;18(3):286-290. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23021888>

References

1. Wenig C., Dunlop J. W. C., Hehemeyer-Cürten J., Reppe F. J., Horbelt N., Krauthausen K., Fratzl P., Eder M. Advanced materials design based on waste wood and bark. *Phil. Trans. R. Soc.* 2021;379(2206):20200345. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0345>

2. Alberg N. I., Sanzhieva S. E., Salkhofer S. Integrated sustainable waste management. Woodworking and pulp and paper industry. Moscow: Izdatel'skiy dom Akademii Estestvoznaniya, 2016. 308 p.

3. Mokhiev A. P., Bezrukikh Yu. A., Medvedev S. O. Recycling of wood wastes of timber industry, as a factor of sustainable resource management. *Inzhenernyy vestnik Dona = Engineering Journal of Don.* 2015;(2-2):13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24132495>

4. Mikhaylov K. L., Gushchin V. A., Tarakanov A. M. Collection and processing of logging residual and firewood in a felling area. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal = Bulletin of Higher Educational Institutions. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal).* 2016;(6):98-106. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.6.98>

5. Mosyagin V. I. Problems of ecologization of the forest complex. Saint-Petersburg: LTA, 1999. 375 p.

6. Singh A., Singh A. Microbial degradation and value addition to food and agriculture waste. *Current Microbiology.* 2022;79:119. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00284-022-02809-5>

7. Tripathi N., Hills C. D., Singh R. S., Atkinson C. J. Biomass waste utilisation in low-carbon products: harnessing a major potential resource. *Climate and Atmospheric Science.* 2019;2:35. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0093-5>

8. Kumar A., Gautam A., Dutt D. Biotechnological transformation of lignocellulosic biomass in to industrial products: An Overview. *Advanced in Bioscience and Biotechnology.* 2016;7(3):149-168. DOI: <https://doi.org/10.4236/abb.2016.73014>

9. Simonov M. N., Torgovnikov G. I. Debarking machines. Device and operation. Moscow: *Lesnaya promyshlennost'*, 1990. 182 p.

10. Kapitsa E. A., Shorokhova E. V., Romashkin I. V., Galibina N. A., Nikerova K. M., Kazartsev I. A. Decomposition of bark as a part of logging slash after clear-cutting in mixed middle boreal forests. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science.* 2019;(1):38-48. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0024114819010066>

11. Soboleva S. V., Chentsova L. I., Voronin V. M. Processing of aspen bark to obtain biologically active substances and feed products: monograph. Krasnoyarsk: *SibGTU*, 2013. 77 p.

12. Páztory Z., Mohácsiné I. R., Gorbacheva G., Börcsök Z. The utilization of tree bark. *BioResources.* 2016;11(3):7859-7888. URL: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/the-utilization-of-tree-bark/>

13. Belyakova A. Yu., Pogrebnyak A. V., Pogrebnyak L. V. Physico-chemical and biological properties of the components of the outer birch bark. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education.* 2015;(2-2):492. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24921354>

14. Deyneko I. P., Deyneko I. V., Belov L. P. Investigation of the chemical composition of pine bark. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw material.* 2007;(1):19-24. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9482860>

15. Korolev K. G., Lomovskiy O. I. A method for obtaining a biologically active amount of triterpene cislol: Patent RF, no. 2303589, 2007.

16. Kuznetsov B. N., Efremov A. A., Levanskii V. A., Kuznetsova S. A., Polezhaeva N. I., Shilkina T. A., Krotova I. V. The using of non-isobaric pre-hydrolysis for the isolation of organic compounds from wood and bark. *Bioresource Technology.* 1996;58(2):181-188. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(96\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(96)00097-1)

17. Levanskii V. A., Polezhaeva N. I., Shilkina T. A., Kuznetsov B. N. Extraction of extractive substances from the bark of larch and fir activated by water vapor in the presence of ammonium chloride. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw material.* 2001;(4):87-91. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9337191>

18. Jiang W., Adamopoulos S., Hosseinpourpia R., Žigon J., Petric M., Šernek M., Medved S. Utilization of partially liquefied bark for production of particleboards. *Appl. Sci.* 2020;10(15):5253. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10155253>

19. Rodenkov V. P., Stolyarov V. F., Turbin V. V., Vorobev E. A., Konovalov N. M., Antonov A. N. A method for producing activated carbon from sawdust and small chips and an installation for its implementation: Patent RF, no. 2104926, 1998.

20. Kocheva L. S., Karmanov A. P., Kochanova A. V. Method of obtaining sorbent of oil and petroleum products: Patent RF, no. 2638354, 2017.

21. Lehtikangas P. Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. *Biomass and Bioenergy*. 2001;20(5):351-360. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00092-1](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00092-1)
22. Yao J.-L., Fang S.-M., Liu R., Oppong M. B., Liu E.-W., Fan G.-W., Zhang H. A Review on the Terpenes from Genus *Vitex*. *Molecules*. 2016;21:1179. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules21091179>
23. Volodin V. V., Vu Tkhi L., Volodina S. O., Kuznetsov A. N. Ecdysteroid-containing plants of the national park Cuc Phuong (Northern Vietnam). *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN* = Proceedings of the Komi science centre Ural branch Russian academy of sciences. 2018;3(35):46-53. (Un Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35728633>
24. Kamperidou V., Lykidis C., Barmoutis P. Utilization of wood and bark of fast-growing hardwood species in energy production. *J. For. Sci.* 2018;64(4):164-170. DOI: <https://doi.org/10.17221/141/2017-JFS>
25. Shirinkina E. S. Minimization of the impact of bark-wood waste from the pulp and paper industry on the environment. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika* = Bulletin of the Perm national research polytechnic university. Applied ecology. Urban development. 2014;(2):108-118. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21943543>
26. Kaygorodov R. V. Impact of wood waste on biological activity of technogenic surface formations of road-side areas. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2019;(11):83-88. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41435678>
27. Veprikova E. V., Kuznetsova S. A., Chesnokov N. V., Kuznetsov B. N. Obtaining of organomineral fertilizers on the basis of wood bark (review). *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Khimiya* = Journal of Siberian Federal University. Chemistry. 2016;9(4):414-429. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17516/1998-2836-2016-9-4-414-429>
28. Mokrushina N. S., Tarasova T. S., Darmov I. V. Isolation of micromycetes which are promising in developing a biopreparation for speeding up the composting of wood wastes into fertilizers. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo* = Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod. 2010;(2-2):430-434. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15529284>
29. Devyatlovskaya A. N. Tree bark use as greenhouse soil. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2010;(2):25-27. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14999093>
30. Devyatlovskaya A. N., Zhuravleva L. N., Devyatlovskiy N. V. Utilization of wood bark of wood processing enterprises. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2010;(27):51-54. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22696779>
31. Dossa G. G. O., Schaefer D., Zhang J.-L., Tao J.-C., Cao K.-F., Corlett R. T., Cunningham A. B., Xu J.-C., Cornelissen J. H. C., Harrison R. D. The cover uncovered: bark control over wood decomposition. *Journal of Ecology*. 2018;106:2147-2160.
32. Gilbertson R. L. Wood-Rotting Fungi of North America. *Mycologia*. 1980;72(1):1-49. DOI: <https://doi.org/10.1080/00275514.1980.12021153>
33. Griffiths B. S., Caul S. Migration of bacterial-feeding nematodes, but not proto-zoa, to decomposing grass residues. *Biology and Fertility of Soils*. 1993;15:201-207. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00361612>
34. Jurgensen M. F., Larsen M. J., Spano S. D., Harvey A. E., Gale M. R. Nitrogen fixation associated with increased wood decay in Douglas-fir residue. *Forest Science*. 1984;30:1038-1044.
35. Larsen M. J., Jurgensen M. F., Harvey A. E. N₂ fixation associated with wood decayed by some common fungi in western Montana. *Canadian Journal of Forest Research*. 1978;8(3):341-345. DOI: <https://doi.org/10.1139/X78-050>
36. Merrill W., Cowling E. B. Role of nitrogen in wood deterioration – Amount and distribution of nitrogen in fungi. *Phytopathology*. 1966;56:1083-1090.
37. Alban D. H., Pastor J. Decomposition of aspen, spruce, and pine boles on two sites in Minnesota. *Canadian Journal of Forest Research*. 1993;23 (9):1744-1749. DOI: <https://doi.org/10.1139/X93-220>
38. Laiho R., Prescott C. E. The contribution of coarse woody debris to carbon, nitrogen, and phosphorus cycles in three Rocky Mountain coniferous forests. *Canadian Journal of Forest Research*. 1999;29(10):1592-1603. DOI: <https://doi.org/10.1139/X99-132>
39. Larsen M. J., Jurgensen M. F., Harvey A. E. N₂ fixation in brown-rotted soil wood in an intermountain cedar-hemlock ecosystem. *Forest Science*. 1982;28(2):292-296.
40. Rinne K. T., Rajala T., Peltoniemi K., Chen J., Smolander A., Mäkipää R. Accumulation rates and sources of external nitrogen in decaying wood in a Norway spruce dominated forest. *Functional Ecology*. 2017;31(2):530-541. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12734>
41. Petrillo M., Cherubini P., Fravolini G., Marchetti M., Ascher-Jenull J., Schärer M., Synal H. A., Bertoldi D., Camin F., Larcher R., Egli M. Time since death and decay rate constants of Norway spruce and European larch deadwood in subalpine forests determined using dendrochronology and radiocarbon dating. *Biogeosciences*. 2016;13(5):1537-1552. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-13-1537-2016>
42. Strukelj M., Brais S., Quideau S. A., Angers V. A., Kebli H., Drapeau P., Oh S.-W. Chemical transformations in downed logs and snags of mixed boreal species during decomposition. *Canadian Journal of Forest Research*. 2013;43(9):785-798. DOI: <https://doi.org/10.1139/CJFR-2013-0086>

43. Laiho R., Prescott C. E. Decay and nutrient dynamics of coarse woody debris in northern coniferous forests: a synthesis. *Canadian Journal of Forest Research*. 2004;34(4):763-777. DOI: <https://doi.org/10.1139/X03-241>
44. Ruokolainen A., Shorohova E., Penttilä R., Kotkova V., Kushnevskaia H. A continuum of dead wood with various habitat elements maintains the diversity of wood-inhabiting fungi in an old-growth boreal forest. *European Journal of Forest Research*. 2018;137:707-718. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1135-y>
45. Deyneko I. P., Faustova N. M. Elemental and group chemical composition of aspen bark and wood. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2015;(1):51-62. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24148922>
46. Poluboyarinov O. I., Sorokin A. M. Physical properties of pine bark and its components. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* = Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal). 1997;3:70-74. (In Russ.). URL: http://lesnoizhurnal.ru/issuesarchive/?ELEMENT_ID=70809
47. Palviainen M., Finér L. Decomposition and nutrient release from Norway spruce coarse roots and stumps – a 40-year chronosequence study. *Forest Ecology and Management*. 2015;358:1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2015.08.036>
48. Palviainen M., Finér L., Laiho R., Shorohova E., Kapitsa E., Vanha-Majamaa I. Carbon and nitrogen release from decomposing Scots pine, Norway spruce and silver birch stumps. *Forest Ecology and Management*. 2010;259(3):390-398. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2009.10.034>
49. Dontsov A. G. Development of the concept of a bioethanol plant based on the biopalping technology platform. *Butlerovskie soobshcheniya* = Butlerov Communications. 2021;68(12):95-102. (In Russ.). URL: <https://butlerov.com/files/reports/2021/vol68/12/95/21-68-12-95-.pdf>
50. Kurilo O., Shirinkina E., Vaisman Y. Reducing the Negative Impact of Pulp and Paper Industry Wood Waste Landfill on the Environment by Using the Bark and Wood Waste of the Prolonged Storage. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* = Ecology and Industry of Russia. 2015;19(1):45-49. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22811217>
51. Maksimov A. Yu., Maksimova Yu. G., Shilova A. V., Kolesova O. V., Simonetti Dzh. Evaluation of the prospects of biodegradation of cellulose-containing waste from Krasnokamsk woodworking enterprise (Perm region) based on the study of their physical and chemical properties and microbiota. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya* = Bulletin of the Perm national research polytechnic university. Chemical Technology and Biotechnology. 2018;(4):98-109. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15593/2224-9400/2018.4.08>
52. Maksimov A. Yu., Shilova A. V., Lisovenko N. Yu., Balandina S. Yu., Shchetko V. A. Application of the new fungicide incanon for pre-sowing seed treatment when growing tomato seedlings in artificial soil obtained by microbiological processing of bark-wood waste. *Vestnik Permskogo universiteta. Khimiya* = Bulletin of Perm university. Chemistry. 2020;10(1):108-117. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17072/2223-1838-2020-1-108-117>
53. Maksimov A. Yu., Shilova A. V., Maksimova Yu. G. A method for processing bark-wood waste, a bioreactor and a technological line for implementing the method: Patent RF no. 2729366, 2020.
54. Gorelov V. V., Ilarionov S. A., Basov V. N., Kuzovkina V. A., Basov A. V., Zonova L. D. The method of processing the scrap metal and the technological platform for its implementation: Patent RF no. 2520022, 2014.
55. Bioconversion of cellulose-containing raw materials (Tr. Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. № 125). *Pod red. V. V. Volodina. Syktyvkar: Komi NTs UrO RAN*, 1992. 73 p.
56. Kulikova N. A., Klyayn O. I., Stepanova E. V., Koroleva O. V. Use of Basidiomycetes in Industrial Waste Processing and Utilization Technologies: Fundamental and Applied Aspects (Review). *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2011;47(6):619-634. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17238641>
57. Wendi D., Wacoo A. P., Wise G. Identifying indigenous practices for cultivation of wild saprophytic mushrooms: responding to the need for sustainable utilization of natural resources. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 2019;15:64. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13002-019-0342-z>
58. Safonov M. A. Complexes of wood-destroying basidiomycetes of floodplain forests of the Southern Preurals (Orenburg region). *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2015;(8):62-65. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24171678>
59. Palamarchuk M. A. Xylotrophic agaricoid basidiomycetes of the Pechora-Ilych Reserve (Northern Urals). *Khvoynye boreal'noy zony* = Conifers of the boreal area. 2009;26(1):67-71. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12330615>
60. Mukhin V. A. Biota of xylotrophic basidiomycetes of the West Siberian Plain. Ekaterinburg: *UIF «Nauka»*, 1993. 232 p.
61. Bari E., Karimi K., Aghajani H., Schmidt O., Zacheri S., Tajick-Ghanbary M. A., Juybari H. Z. Characterizations of tree-decay fungi by molecular and morphological investigations in an Iranian alamdard forest. *Maderas. Ciencia y tecnología*. 2021;23(33). DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2021000100433>
62. Fukasawa Y. Ecological impacts of fungal wood decay types: A review of current knowledge and future research directions. *Ecological Research* Volume. 2021;36(6):910-931. DOI: <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12260>

63. Krah F. S., Bässler C., Heibl C., Soghigian J., Schaefer H., Hibbett D. S. Evolutionary dynamics of host specialization in wood-decay fungi. *BMC Evolutionary Biology*. 2018;18:119. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12862-018-1229-7>
64. Fedorova T. V., Shakhova N. V., Klyayn O. I., Glazunova O. A., Maloshenok L. G., Kulikova N. A., Psurtseva N. V., Koroleva O. V. Comparative analysis of the ligninolytic potential of basidiomycetes belonging to different taxonomic and ecological groups. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2013;49(6):570-579. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20280611>
65. Lustenhouwera N., Maynard D. S., Bradford M. A., Lindner D. L., Oberle B., Zanne A. E., Crowther Th. W. A trait-based understanding of wood decomposition by fungi. *PNAS*. 2020;117(21):11551-11558. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1909166117>
66. Kononov G. N., Verevkin A. N., Serdyukova Yu. V., Zaytsev V. D. Wood mycolysis, its products and their use. I. Ecological aspects of mycological wood destruction. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*. 2020;24(2):81-87. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-2-81-87>
67. Li T., Cui L., Song X., Cui X., Wei Yu., Tang L., Mu Ya., Xu Z. Wood decay fungi: an analysis of world-wide research. *Journal of Soils and Sediments*. 2022;22:1688-1702. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03225-9>
68. Bogorodskaya A. V., Kiseleva O. V. Use of wood waste bioconversion products as biofertilizers for remediation of degraded soils. *Agrokhiimiya*. 2021;(2):86-93. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121020046>
69. Mallak A. M., Lakzian A., Khodaverdi E., Haghnia G. H., Mahmoudi S. Effect of *Pleurotus ostreatus* and *Trametes versicolor* on triclosan biodegradation and activity of laccase and manganese peroxidase enzymes. *Microbial Pathogenesis*. 2020;149(6):104473. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104473>
70. Mamaeva O. O., Isaeva E. V. Use of Post-Extraction Fir Wood Greenery Residues by the Bioconversion Method with the Production of Feed Additives. *Forests*. 2021;12(3):272. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12030272>
71. Hu K., Peris A., Toran J., Eljarrat E., Sarra M., Blanquez P., Caminal G. Exploring the degradation capability of *Trametes versicolor* on selected hydrophobic pesticides through setting sights simultaneously on culture broth and biological matrix. *Chemosphere*. 2020;250:126293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126293>
72. Tišma M., Žnidaršič-Plazl P., Šelo G., Tolj I., Šperanda M., Bucić-Kojić A., Planinić M. *Trametes versicolor* in lignocellulose-based bioeconomy: State of the art, challenges and opportunities. *Bioresour Technology*. 2021;330:124997. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124997>
73. Zubchenko A. V., Kozhevnikova E. Yu., Barkov A. V., Topolyuk Yu. A., Shnyreva A. V., Vinokurov V. A., Magadova L. A. Potential use of basidiomycota *Trametes hirsuta* MT-17.24 in biodegradation of polyanionic cellulose. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(3):472-480. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-3-472-480>
74. Pavlov I. N., Litovka Yu. A., Litvinova E. A., Petrenko S. M., Enazarov R. Kh. Prospects for deep cultivation of *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst. on hydrodynamic activated plant waste. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw material*. 2020;(4):385-394. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44529560>
75. Volodin V. V., Shergina N. N., Martynov V. V., Volodina S. O., Shubakov A. A., Kozhevnikova E. Yu., Shirshova T. I., Vasilov R. G. Biotechnological potential of wood-destroying fungi for biofuel production. *Vestnik biotekhnologii i fiziko-khimicheskoy biologii im. Yu. A. Ovchinnikova = Bulletin of biotechnology and physico-chemical biology named after Yu. A. Ovchinnikov*. 2021;17(4):11-23. (In Russ.). URL: <https://biorosinfo.ru/journal/>
76. Smirnov K. A., Alashkevich Yu. L., Reshetova N. S. Features of solid state fermentation. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw material*. 2009;(3):161-164. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13008084&>
77. Sadh P. K., Duhan S., Duhan J. S. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresour. Bioprocess*. 2018;5(1):1-15. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0187-z>
78. Golyshkin A. V., Almyasheva N. R., Krasnopolskaya L. M. A substrate for the cultivation of xylophilic basidiomycetes and a method for its preparation using methods of chemical modification of lignocellulose raw materials: Patent RF no. 2699991. 2019.
79. Thomas L., Larroche C., Pandey A. Current developments in solid-state fermentation. *Biochem. Eng. J.* 2013;81:146-161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2013.10.013>
80. Kulishov B. A., Le An Tuan, Kanarskiy A. V. Utilization of waste from the processing of plant raw materials in bioreactors for solid-phase fermentation. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015;18(3):286-290. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23021888>

Сведения об авторах

✉ **Володин Владимир Витальевич**, доктор биол. наук, профессор, зав. лабораторией биохимии и биотехнологии, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Коммунистическая, д. 28. г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167982, e-mail: directorat@ib.komisc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4329-821X>, e-mail: vladimir131035@yandex.ru

Шубаков Анатолий Александрович, кандидат биол. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории биохимии и биотехнологии, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Коммунистическая, д. 28. г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167982, e-mail: directorat@ib.komisc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7705-016X>

Володина Светлана Олеговна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимии и биотехнологии, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Коммунистическая, д. 28. г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167982, e-mail: directorat@ib.komisc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7033-4370>

Шергина Нина Николаевна, кандидат биол. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории биохимии и биотехнологии, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, ул. Коммунистическая, д. 28. г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167982, e-mail: directorat@ib.komisc.ru; ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина», Октябрьский проспект, д. 55, г. Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167001, e-mail: reception@syktsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7033-4370>

Василов Раиф Гаянович, доктор биол. наук, профессор, ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», пл. Академика Курчатова, д. 1, г. Москва, Российская Федерация, 123182, e-mail: nrcki@nrcki.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3247-3502>

Information about the authors

✉ **Vladimir V. Volodin**, DSc in Biological sciences, Professor, Head. Laboratory of Biochemistry and Biotechnology, Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28 Kommunisticheskaya str., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982, e-mail: directorat@ib.komisc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4329-821X>, e-mail: vladimir131035@yandex.ru

Anatoly A. Shubakov, PhD in Biological sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Laboratory of Biochemistry and Biotechnology, Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28 Kommunisticheskaya str., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982, e-mail: directorat@ib.komisc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7705-016X>

Svetlana O. Volodina, PhD in Biological sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Biochemistry and Biotechnology, Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28 Kommunisticheskaya str., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982, e-mail: directorat@ib.komisc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7033-4370>

Nina N. Shergina, PhD in Biological sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Laboratory of Biochemistry and Biotechnology, Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28 Kommunisticheskaya str., Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167982, e-mail: directorat@ib.komisc.ru; Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, Syktyvkar, Oktyabrsky Prospekt, 55, Syktyvkar, Komi Republic, Russian Federation, 167001, e-mail: reception@syktsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7033-4370>

Raif G. Vasilov, DSc in Biological sciences, Professor, National Research Center «Kurchatov Institute», Academician Kurchatov Square, 1, Moscow, Russian Federation, 123182, e-mail: nrcki@nrcki.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3247-3502>

✉ – Для контактов / Corresponding author