

## **БИОЛОГИЧЕСКАЯ КОНВЕРСИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ**

**Максимов А.Ю.<sup>1,2</sup>, Шилова А.В.<sup>1</sup>, Максимова Ю.Г.<sup>1,2</sup>, Баландина С.Ю.<sup>2</sup>,  
Демаков В.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН - филиал  
Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, Пермь, Россия,  
almaks1@mail.ru*

<sup>2</sup>*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
Пермь*

Растительное сырьё – продукты сельского хозяйства и древесина, являются важнейшим органическим сырьевым ресурсом. Это возобновляемое сырьё, однако в случае древесного материала скорость его естественного воспроизводства значительно уступает скорости вырубке лесов. Некондиционные древесные материалы (опил, щепа, кора и т.п.), являются широко распространенными видами отходов промышленного производства, в больших объёмах образующимся при деревообработке, производстве бумаги и картона [2,3]. Такие материалы могут быть использованы как топливо, либо как дополнительный вид целлюлозосодержащего сырья. Рациональное использование коро-древесных отходов (КДО) способствует снижению объёма вырубок. На практике вследствие нерационального использования и неиспользования КДО образуется и накапливается огромное количество такого сырья в виде отвалов, что вызывает серьёзные экологические проблемы вследствие загрязнения почв и вод, пожароопасности [8]. В связи с этим остро стоит задача рациональной переработки древесных отходов. При длительном хранении такие материалы подвергаются частичной биологической и окислительной деструкции и, как результат, не пригодны как для использования в качестве топлива (низкая теплоотдача, необходимость высушивания), так и для производства строительных и конструкционных материалов [1,6]. Для частично гумифицированных КДО основным применением представляется их использование для мульчирования, структурирования почв и удобрения в сельском хозяйстве. Однако внесение больших количеств таких материалов в почву без ферментации и коррекции состава среды приводит к негативному результату – снижению плодородия агроземов за счет, накопления карбоновых кислот, истощения запасов биогенных элементов, а также распространения гнилостной микрофлоры. Перспективные возможности для переработки КДО дает биотехнологический подход: внедрение и оптимизация технологий ферментации и компостирования [4, 5].

Также большие объёмы некондиционных целлюлозосодержащих материалов производятся как отходы растениеводства. Это различные виды соломы и непищевых частей культурных растений (ботва, жмых, некондиционные и испорченные растительные продукты и т.п.). Некоторая часть таких отходов перерабатывается на корма, биоудобрения, топливо, кормовой белок. Для улучшения переработки как сельскохозяйственного растительного сырья, так и КДО актуален поиск новых высокоактивных культур и сообществ микроорганизмов – биодеструкторов растительных полимеров, смолистых и фенольных веществ.

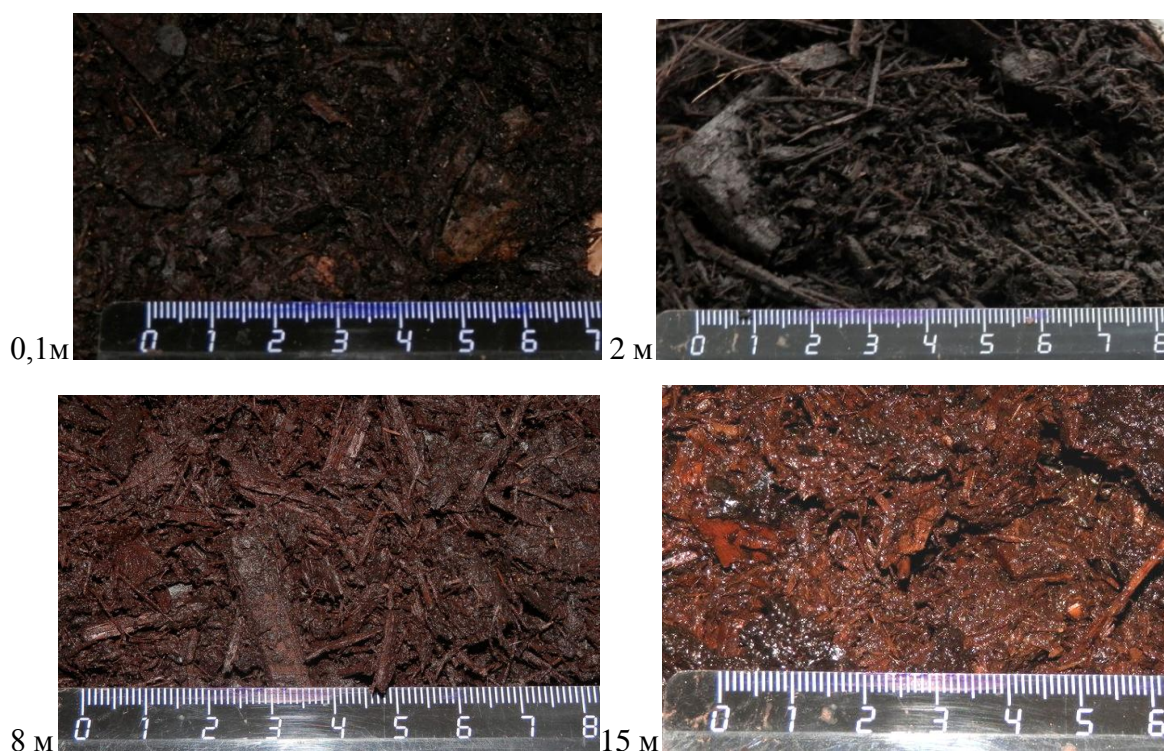
Недостатком многих технологий ферментации растительного сырья является их поверхностное использование, снижающее возможные объёмы переработки. Другим лимитирующим фактором является присутствие в растительном материале, особенно в КДО, и образование при самой ферментации (при биодеструкции лигнина и окислении сахаров) веществ, ингибирующих процессы ферментации, а также неоптимальные химический состав (например, дефицит азота, фосфора, магния, микроэлементов) и кислотность среды. [5].

Рациональным подходом переработки растительного сырья представляется ферментация древесных материалов с получением грунтоподобных субстанций, а также органических удобрений в жидком и пастообразном виде. Наибольший потенциал имеют технологии с использованием сообществ микроорганизмов – биодеструкторов лигнина, гемицеллюлозы, целлюлозы, других компонентов. Для этого могут быть использованы различные виды бактерий, макромицетов и микромицетов, а также искусственные сообщества [4, 5, 7, 9, 10].

В наших исследованиях материала короотвала г. Краснокамск (ЦБК "Кама"), существующего более 80 лет, сложенного из КДО хвойных пород (ель), имеющего мощность от основания до 19-20 м, установлено, что материал, залегающий на глубине ниже 9-10 м (для разных точек), обводнен и значительно менее изменён, чем КДО вышележащих слоёв, сохраняет природную структуру, прочностные характеристики и светлый желтоватый цвет древесины (Рис.1). В то же время материал верхних слоёв частично гумифицирован. Таким образом, обнаружено, что герметизация, обводнение, отсутствие как кислорода, так и свободных окислителей другой природы, приводит к торможению процессов биодеградациии и консервации материала. Не подтверждаются, ранее высказанные мнения, что складированное растительное древесные и отходы короотвалов во всём объёме гумифицируются в естественных условиях до грунтоподобного материала в течение 50-70 лет [2, 3].

Выделены культуры бактерий и микромицетов – биодеструкторы растительных биополимеров. Для селекции биодеструкторов использовали минеральную среду N [5] с добавлением в качестве субстрата

карбоксиметилцеллюлозы, целлюлозы или лигнина до 1%. Целлюлолитическую активность определяли в классическом тесте с карбоксиметилцеллюлозой и Конго красным. Для визуального определения лигнинолитической активности использовали таннин. Идентификацию прокариот проводили с помощью секвенирования генов 16S рРНК и методов полифазной таксономии. Микромицеты идентифицировали по морфологическим признакам и циклу развития.



**Рисунок 1** – Образцы проб КДО, взятых с разных глубин.

В результате проведенного отбора изолированы активные культуры бактерий родов *Streptomyces* и *Cellulomonas* и микромицеты *Aspergillus fumigatus*, *Paecilomyces variotii*, *Penicillium purpurogenum*, *Fusarium* sp., *Trichoderma viride*, способные к активной биодеструкции целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, а также продуктов их деполимеризации. Показано, что выделенные микроорганизмы обладают широким метаболическим потенциалом и способны в том числе утилизировать карбоновые кислоты, токсичные фенольные и терпеновые компоненты, коими являются промежуточные продукты биодеструкции компонентов древесины, в значительной степени подавляющие естественный процесс биологической утилизации КДО в природных условиях.

На основе модельных экспериментов нами предложена новая стратегия ферментации, ранее не рассматриваемая в отношении короотвалов ЦБК. Одним из ключевых моментов новой технологии является создание объёмной зоны

активной биодеградаци КДО с помощью нового вида реактора открытого типа, создающего среду, оптимизированную для роста биодеструкторов.

Проведены долговременные эксперименты по биодеструкции материала КДО выделенными микроорганизмами и искусственными сообществами, а также применению полученных субстанций в качестве органического удобрения. Как жидкая фаза, так и твердый ферментированный остаток показали хорошие результаты в качестве удобрения, стимулятора роста и субстанции, структурирующей почву.

Таким образом, рациональным подходом для переработки растительного сырья представляется ферментация в оптимизированных условиях по содержанию биогенных элементов и микроэлементов с использованием адаптированных искусственных сообществ и получением в результате органических удобрений в жидком и пастообразном виде.

Работа выполнена в рамках проекта МИГ № С-26/796, финансируемого Министерством образования и науки Пермского края.

### Литература

1. Беседина И.Н., Симкин Ю.Я., Петров В.С. Получение углеродных материалов из отходов сухой окорки лиственницы сибирской. Особенности отходов сухой окорки как сырья для получения углеродных материалов // Химия растительного сырья. 2002. Т.2. С. 63-66.
2. Гелес, И.С. Древесное сырье-стратегическая основа и резерв цивилизации // Петрозаводск : Карел. научный центр РАН, 2007. 499 с.
3. Курило, О.Н. Анализ технологических аспектов образования отходов на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности / О.Н. Курило, Ю.В. Куликова, Е.С. Ширинкина, Я.И. Вайсман // Пермь: Вестн. ПНИПУ. Урбанистика. - 2013. - № 4 (12). - С. 97-108.
4. Лиштван И.И., Абрамец А.М., Янута Ю.Г., Монич Г.С., Глухова Н.С. Отходы целлюлозно-бумажной промышленности и утилизация их в земледелии. Часть I. // Природопользование. 2012. Вып. 21. С. 229 -236.
5. 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. С. 98-112.
6. Сафонов, А.О. Тенденции развития производства композитных материалов из отходов древесины / А.О. Сафонов // Научный журнал КубГАУ, - 2012. – №. 75. – С. 01.
7. Федорец, Н.Г., Бахмет О.Н. Органические удобрения из отходов деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности // Экология и промышленность России. 2008. №4. С.13-15.



8. Monte, M.C. Waste management from pulp and paper production in the European Union./ M.C. Monte, E. Fuente, A. Blanco, C. Negro // Waste Management and Research. - 2009. – V.29. – P. 293–308.

9. Hussain A.A., Abdel-Salam M.S., Abo-Ghalia H.H., Hegazy W.K., Hafez S.S. Optimization and molecular identification of novel cellulose degrading bacteria isolated from Egyptian environment // J. Genet. Engineer. Biotechnol. 2017. V.15. P.77-85.

10. Yang, C.-X., Wang T., Gao L.-N., Yin H.-J., Lü X. Isolation, identification and characterization of lignin-degrading bacteria from Qinling, China // J. Appl. Microbiol. 2017. V.123(6). P.1447-1460.