

Строительство на территории Удмуртской республики пяти заводов по биопереработке органических отходов позволит переработать 120 тыс. т отходов в год, при этом получить 5,3 млрд. рублей дохода, предотвратив выброс 180 тыс. т. CO<sub>2</sub>-экв.

Два сотрудника УдГУ прошли программу профессиональной переподготовки на базе ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» и получили квалификацию менеджеров в сфере Управления природно-климатическими проектами и работы на углеродных рынках. Финансирование обучения сотрудников по данной программе осуществлялось совместно с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Удмуртской республики.

На базе НПП осуществляется проведение фундаментальных НИР: 1. Утилизация органических отходов помощью микроскопических грибов и создание упаковки из грибных гифов; 2. Исследование роли эндотрофных микроскопических грибов в процессах декарбонизации, адаптации экосистем к изменениям климата и восстановлению почвенного плодородия; 3 Оценка эффективности использования биообъектов в утилизации органических отходов разной морфологии, включая органические отходы молочной, пивоваренной и мясной отрасли.

Таким образом, в УдГУ создана модель разработки и внедрения технологических решений в отрасли экономики (система обращения отходов). Она направлена на реализации концепции технологического развития РФ, с целью адаптации научных решений к реалиям промышленного производства, для последующего внедрения в реальный сектор экономики. Созданная НПП - база для практической, производственной и предпринимательской подготовки молодых кадров. Модель создания НПП в рамках образовательной организации может быть моделью для тиражирования в научно-образовательных учреждениях по разным областям науки и технологий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Охрана окружающей среды в России. 2022: Стат. сб./Росстат. – М., 2022. – 115 с.
2. «О внесении изменений в Федеральную научно-техническую программу развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы», Постановление Правительства РФ от 03.09.2021 г. № 1489.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ОФИСНЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ОТХОДОВ ПРИ ПОМОЩИ БАЗИДИАЛЬНОГО ГРИБА ТРУТОВИКА ЛАКИРОВАННОГО (*GANODERMA LUCIDUM*)

## ECOLOGICAL UTILIZATION OF OFFICE PULP WASTE BY THE BASIDIAL FUNGUS *GANODERMA LUCIDUM* (*GANODERMA LUCIDUM*)

***И. В. Налетов, К. А. Бойко***

***I. V. Naletov, K. A. Voiko***

*ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь*

*i.naletov@unitsky.com*

*Unitsky String Technologies, Inc. Minsk, Republic of Belarus*

Работа посвящена актуальной проблеме – увеличение количества целлюлозных отходов, а также их утилизация. В настоящее время в Республике Беларусь наблюдается устойчивый рост объемов офисных целлюлозных остатков. В статье представлен современный взгляд на применение макулатуры, а именно использование бумаги в качестве субстрата для выращивания лекарственного гриба *Ganoderma lucidum* с одновременной биоутилизацией целлюлозных отходов.

The work is devoted to the actual problem – increase in the amount of cellulose waste, as well as its disposal. Currently, the Republic of Belarus is experiencing a steady increase in the volume of office pulp residues. The article presents a modern view on the use of waste paper, namely the use of paper as a substrate for growing the medicinal fungus *Ganoderma lucidum* with simultaneous bio-utilization of cellulose waste.

*Ключевые слова:* целлюлозные отходы, биоутилизация, базидиальный гриб.

*Keywords:* cellulose waste, bio-utilization, basidiomycete

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-43-46>

В настоящее время проблема переработки органических отходов остро стоит во многих странах мира, а неправильное обращение с ними представляет опасность для здоровья человека и природы. Выбор способа переработки зависит от сорта и класса отходов. Некоторые страны только начинают осваивать переработку отходов, другие уже глубоко продвинулись в этом вопросе и стараются перерабатывать каждый вид мусора. Однако даже при успешно работающей системе утилизации проблема остаётся до конца нерешённой. Следовательно, существует необходимость в поиске экологически чистых и наиболее безопасных способов переработки отходов.

Согласно данным ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов», в Беларуси ежегодно образуется около 3,8 миллиона тонн бытовых отходов, причем доля макулатуры составляет около 1 %. В мировой практике переработки макулатуры примерно 40 % составляет вторичное сырье [1].

Использование макулатуры в качестве источника сырья в бумажной промышленности способно сохранить лесные ресурсы и снизить негативное воздействие на окружающую среду. Однако в процессе использования бумаги во вторичной промышленности возникают необрабатываемые отходы, которые обычно направляются на производство бумаги для личной гигиены либо складывают в специальных мусорниках.

Офисная резаная бумага в последние годы стала не только основным источником макулатуры, но также является одной из самых проблематичных форм отходов. Чернила, используемые для печати, содержат примеси железа, при производстве бумаги применяются различные щелочи, а для отбеливания листов используется карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) [2]. Все эти вещества могут накапливаться в окружающей среде и наносить ей определенный вред.

Таким образом, эффективная переработка и использование макулатуры в бумажной промышленности могут снизить негативное воздействие на окружающую среду, сохранить лесные ресурсы и сократить объемы отходов.

В этой связи с научной точки зрения важным представляется решение в настоящей работе таких актуальных вопросов как утилизация проблемных форм макулатуры, таких как офисная резаная бумага, и поиск способов их эффективной обработки и утилизации.

В природных лесных биоценозах органические растительные остатки, включая древесину и лиственный опад, подвергаются минерализации с помощью сапротрофов, которые используют их в качестве основного источника питания [3]. Среди сапротрофов особенно выделяются грибы, которые обладают широким спектром ферментов, специализированных на разложение лигниноцеллюлозных соединений растений.

Один из представителей сапротрофных грибов – трутовик лакированный (*Ganoderma Lucidum*), также известный как гриб рейши. В естественных условиях *G. Lucidum* произрастает на мертвых деревьях или в листовом опаде древесных растений. Мицелий развивается достаточно быстро, образуя на поверхности открытых участков плотную корку, таким образом мицелий гриба сохраняет влагу внутри структуры своего тела. Плодовые тела в естественных условиях формируются на второй год жизни грибов, спорангий размещается на длинной ножке и в зависимости от условий может приобретать различную форму. Если мицелий произрастает на пне или дереве, то плодовые тела формируются схожим способом, как и другие трутовые грибы [4].

*G. lucidum* так же является одним из наиболее изученных лекарственных грибов. Его противовоспалительные, противовирусные, антимикробные, противоаллергические и противоопухолевые свойства были выявлены во многих научных исследованиях. По химической природе биологически активные метаболиты рейши относят к полисахаридам, тритерпенам, белкам, алкалоидам и другим классам соединений. Источниками получения данных метаболитов служат базидиомы и вегетативный мицелий [4].

Как и многие другие виды базидиальных грибов, *G. Lucidum* можно культивировать в искусственных условиях на специально подготовленных субстратах, в таких условиях гриб формирует мицелий в течении 45 дней, а плодовые тела формируются через 9–10 месяцев.

Искусственное производство и сбор *G. lucidum* позволяют обеспечить наличие ценного лекарственного сырья и использовать его полезные свойства в медицине и других областях.

Промышленное культивирование гриба *G. Lucidum* требует тщательной подготовки субстрата, который должен содержать не менее 40 % целлюлозы, до 10 % моносахаридов и в пределах 5-8 % азотных соединений и белков. Остальная часть субстрата должна состоять из лигнина и других органических веществ [4, 5].

При переработке целлюлозных отходов возможно все находящиеся органические соединения сделать пригодными для последующего выращивания органической пищевой продукции. Использование офисной макулатуры в качестве субстрата для производства гриба *G. Lucidum* является перспективным вариантом для масштабного производства данного гриба. Особенности роста и развития гриба формируются именно от самого субстрата. Например, использование макулатуры на 70 % позволяет ускорить формирование плодовых тел на 20 % по сравнению с использованием опилок, хвороста или листового опада.

Гриб как в естественной среде, так и в искусственной формирует плотные коричневые гифы с целью защитить мицелий от пересыхания (рис. 1 А), в местах выхода мицелия на поверхность субстрата также формируются уплотнения коричневого цвета (рис. 1 Б).



А. Плотный мицелий на поверхности субстрата



Б. Внешний вид мицелия гриба *Ganoderma Lucidum*

Рисунок 1 – Культивирование грибов трутовика лакированного (*Ganoderma Lucidum*) в искусственных условиях на остатках офисной макулатуре

Биохимические исследования твердого мицелия указывают на значительное накопление гликопротеидов с включениями лигнина, что в свою очередь создает достаточно плотный мицелий с низким содержанием влаги. Мицелий гриба полностью покрывает бумажный субстрат, а гифы гриба проникают на все уровни субстрата. Со временем субстрат начинает терять влагу, о чем свидетельствуют ежедневные замеры, и после начала снижения влаги должно пройти 70 дней прежде, чем будет сформирован первые примордий гриба.

При проведении исследования выяснилось, что скорость роста мицелия на субстрате контроль + (состоял из лиственных опилок берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) – 80 %, нитрата аммония ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) – 3 %, зерна овса посевного (*Avena sativa* L.) – 17 %) составила 1,3 % обрастания мицелия субстрата в сутки (полное покрытие мицелием составило 73 дня). При этом масса собранных плодовых тел составила 250 г/кг сухого субстрата первой волны и 170 г/кг сухого субстрата второй волны, что составило 42 % от массы исходного субстрата (рис 2 А).

Отрицательный контроль (контроль -) включал в себя древесные опилки берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) 80 % в чистом виде без добавления компонентов. При этом ему удалось сформировать массу плодовых тел в первую волну 120 г/кг сухого субстрата, а во второй волне 80 г/кг сухого субстрата, в целом вынос питательных компонентов мицелием гриба составило 20 % от массы изначального субстрата. Скорость роста мицелия составляла 0,72 % в сутки, а полное поглощение субстрата составило 134 дня.



А. Формирование плодовых тел в контроле +      Б. Формирование плодовых тел на бумажном субстрате

Рисунок 2 – Варианты выращивания грибов на бумажном субстрате

Гриб *G. Lucidum* способен к практически полному поглощению древесины и целлюлозы из субстрата, в котором он произрастает. Данный факт является основанием для его использования при утилизации бумаги (рис. 3 А). Стебель полностью поглощается грибом, и вся структура древесины в месте с годичными кольцами замещается гифами гриба (рис 3 Б).

При культивировании рейши на бумажной среде наилучшего результата удалось достичь при использовании образца субстрата, состоящего из 70 % офисной резаной бумаги и 30 % зерна овса посевного (*Avena sativa* L.). В данном случае собранная масса гриба в первой волне составила 230 г/кг сухого субстрата, а во второй волне – 210 г/кг сухого субстрата, что составило 44 % от массы изначального субстрата. Скорость роста мицелия составляла 1,33 % в сутки, а полное поглощение субстрата составило 75 дней (Рис.2 Б). Скорость роста мицелия аналогичная со скоростью мицелия на субстрате контроль +. Биохимические анализы грибов на содержание тяжелых металлов показал их полное отсутствие, то есть плодовые тела грибов не впитывают в себя опасные компоненты.



А. Полное поглощение древесины грибом *G. Lucidum*

Б. Мицелий гриба *G. Lucidum* без древесины и целлюлозы

Рисунок 3 – Выращивание гриба трутовика лакированного (*Ganoderma Lucidum*) на березовом полене (*Betula pendula* Roth)

Дальнейшая культивация рейши на бумажном субстрате привела к уменьшению массы сухого субстрата до 180 г, что говорит об эффективном использовании грибов в качестве экологического организма для утилизации целлюлозы. При росте мицелия в бумаге проходили также процессы подавления роста целлюлозолитических

бактерий, а значит отсутствовал специфический запах. Грибы обладали приятным свойственным для данного вида запахом, что делает утилизацию бумаги грибом ещё более перспективным способом.

Оставшаяся сухая масса от утилизации бумаги составляла в целом мицелий гриба, что делает остатки пригодными для питания жвачных животных в сельском хозяйстве. Следует сказать, что биоутилизацию можно и нужно использовать для решения экологических проблем, связанных с переработкой бумажных отходов.

Дальнейшие изучения будут направлены на ускорение роста базидиальных грибов на бумажном субстрате с последующим кормлением беспозвоночных животных для производства биогуруса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гранкин, А. Ю. Использование отходов офисной бумаги для производства композиционных материалов / А. Ю. Гранкин, А. А. Савицкий, О. Д. Булавина // Леса России: политика, промышленность, наука, образование. – 2018. – С. 161–164.

2. Корнеева, В. К. Изучение микроструктуры и химического состава бумаги для оценки моюще-диспергирующих свойств моторного масла методом «капельной пробы» / В. К. Корнеева, В. М. Капцевич, И. В. Спиридович // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России: материалы III Международной научной конференции. – 2022. – С. 49–53.

3. Кочунова, Н. А. Роль базидиальных грибов в лесных биогеоценозах разной степени нарушенности (Амурская область) / Н. А. Кочунова // Охрана и рациональное использование лесных ресурсов. – 2015. – С. 163–167.

4. Заяц, В.С. Протекторная способность экзогенных элиситоров из *Ganoderma lucidum* при индукции солевого стресса у кресс-салата / В.С. Заяц, И.В. Налетов, Е.А. Крюков // Настоящее и будущее биотехнологии растений. Материалы Международной научной конференции, посвященной 65-летию деятельности Отдела биохимии и биотехнологии растений ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси», Минск 2023 год. – Минск, 2023. – С. 75.

5. Юницкий, А. Э. Изучение микробиологической солюбилизации бурого угля / А.Э. Юницкий [и др.] // материалы 22-й Международной научной конференции Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века, 19–20 мая 2022 г., г. Минск, Республика Беларусь – Минск, 2022. – С. 322–324.

## КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ХЛОРЕЛЛЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *CHLORELLA VULGARIS* С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА, И ПОСЛЕДУЮЩИМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУСПЕНЗИИ В КАЧЕСТВЕ ВИТАМИННОЙ ПОДКОРМКИ ДЛЯ ЖИВОТНЫХ

## CULTIVATION OF *CHLORELLA VULGARIS* USING GROWTH REGULATORS AND SUBSEQUENT USE OF THE SUSPENSION AS A VITAMIN FEED FOR ANIMALS

**А. Э. Юницкий, И. В. Налетов, К. А. Бойко**

**A. E. Unitsky, I. V. Naletov, K. A. Boiko**

ЗАО «Струнные технологии», г. Минск, Республика Беларусь

*i.naletov@unitsky.com*

*Unitsky String Technologies, Inc. Minsk. Republic of Belarus*

Хлорелла (*Chlorella vulgaris*) – род одноклеточных зелёных водорослей, которые обитают в пресных водоёмах и играют важную роль в обогащении воды кислородом. Хлорелла способна синтезировать все необходимые вещества, включая белки, жиры, углеводы и витамины, также богата макро- и микроэлементами, превосходящими другие растительные культуры. Для повышения эффективности разведения сельскохозяйственных животных зачастую прибегают к обогащению стандартных рационов питания. К числу живых кормовых добавок относится суспензия хлореллы. Работа направлена на изучение возможности ускорения скорости роста *Chlorella vulgaris* с применением стимуляторов роста, а также последующее её применение при кормлении перепелов.

*Chlorella (Chlorella vulgaris)* is a genus of unicellular green algae that live in fresh water and play an important role in enriching water with oxygen. *Chlorella* is able to synthesize all essential substances, including proteins, fats, carbohydrates and vitamins, and is also rich in macro- and micronutrients that are superior to other plant crops. To increase the efficiency of farm animals breeding, they often resort to enriching standard diets. Live feed additives include *chlorella* suspension. The work is aimed at studying the possibility of accelerating the growth rate of *Chlorella vulgaris* using growth stimulants, as well as its subsequent use in feeding quails.

*Ключевые слова:* хлорелла обыкновенная, микроводоросль, стимулятор роста, кормовая добавка.

*Keywords:* *Chlorella vulgaris*, microalgae, growth stimulator, feed additive.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-46-49>