ЛЕКЦИЯ 7. БИОКОНВЕРСИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ И ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

ФЕРМЕНТАТИВНЫЕ, МИКРОБНЫЕ И ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ

Кафедра биотехнологии, КазНУ имени аль-Фараби
проф. д.б.н. Кенжебаева С.С.

Цель лекции. Результаты обучения

- **ЦЕЛЬ ЛЕКЦИИ.** Сформировать у магистрантов системное представление о составе растительных отходов и побочных продуктов, биологических методах их переработки и возможностях получения кормовых, пищевых, энергетических и биотехнологических продуктов с высокой добавленной стоимостью.
- **РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

1. ОБЪЯСНЯТЬ ПОНЯТИЯ «РАСТИТЕЛЬНЫЕ ОТХОДЫ», «ПОБОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ» И «БИОКОНВЕРСИЯ»;
2. КЛАССИФИЦИРОВАТЬ ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ;
3. ХАРАКТЕРИЗОВАТЬ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНОГО СЫРЬЯ;
4. ОБЪЯСНЯТЬ РОЛЬ ФЕРМЕНТОВ И МИКРООРГАНИЗМОВ В БИОДЕСТРУКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ;
5. СРАВНИВАТЬ ТВЕРДОФАЗНУЮ И ГЛУБИННУЮ ФЕРМЕНТАЦИЮ;
6. ВЫБИРАТЬ ТЕХНОЛОГИЮ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СЫРЬЯ;
7. ОПРЕДЕЛЯТЬ ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕННЫХ ПРОДУКТОВ;

- ОЦЕНИВАТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ И ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОКОНВЕРСИИ.
- **Растительные отходы → Биоконверсия → Ценные продукты → Циркулярная биоэкономика**

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИИ

1. ВВЕДЕНИЕ. ПОНЯТИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ И ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ.
2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ БИОКОНВЕРСИИ.
3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ БИОМАССЫ.
4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ.
5. ФЕРМЕНТАТИВНАЯ БИОКОНВЕРСИЯ.
6. МИКРОБНАЯ ФЕРМЕНТАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ СУБСТРАТОВ.
7. ТВЕРДОФАЗНАЯ ФЕРМЕНТАЦИЯ.
8. ПОЛУЧЕНИЕ ПРОДУКТОВ С ВЫСОКОЙ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТЬЮ.
9. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА, ОГРАНИЧЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ.

ВВЕДЕНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ БИОКОНВЕРСИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

- **Растительные отходы и побочные продукты зерновых культур (солома, отруби, шелуха) составляют значительную часть биомассы АПК.**
- РАСТИТЕЛЬНЫЕ ОТХОДЫ ОБРАЗУЮТСЯ В БОЛЬШИХ ОБЪЕМАХ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ, ХРАНЕНИИ И ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР. ЗНАЧИТЕЛЬНАЯ ИХ ЧАСТЬ СОДЕРЖИТ ЦЕЛЛЮЛОЗУ, ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗУ, ЛИГНИН, БЕЛКИ, ЛИПИДЫ, МИНЕРАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ.
- ПРИ НЕДОСТАТОЧНО ЭФФЕКТИВНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТАКИЕ ОТХОДЫ:
  - НАКАПЛИВАЮТСЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ;
  - ПОДВЕРГАЮТСЯ НЕКОНТРОЛИРУЕМОМУ РАЗЛОЖЕНИЮ;
  - СТАНОВЯТСЯ ИСТОЧНИКОМ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ;
  - ЗАГРЯЗНЯЮТ ПОЧВУ И ВОДУ;
  - ПРИВОДЯТ К ПОТЕРЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО ЦЕННОГО СЫРЬЯ.

ВВЕДЕНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ БИОКОНВЕРСИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Основные проблемы растительных отходов и побочных продуктов зерновых культур :

*** низкая переваримость;**

*** высокая доля лигноцеллюлозы;**

*** экологическая нагрузка.**

Решение:

Биоконверсия – это ключевой инструмент циркулярной биоэкономики.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ И ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

- **ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ**
  - СОЛОМА ПШЕНИЦЫ, ЯЧМЕНЯ И РИСА;
  - ОТРУБИ;
  - ШЕЛУХА;
  - ЗЕРНОВАЯ ПЫЛЬ;
  - ДРОБИНА;
  - ОСТАТКИ ПОСЛЕ ПРОИЗВОДСТВА КРАХМАЛА И БИОЭТАНОЛА.
- **МАСЛИЧНЫЕ КУЛЬТУРЫ**
  - ЖМЫХ;
  - ШРОТ;
  - ЛУЗГА ПОДСОЛНЕЧНИКА;
  - ОСТАТКИ РАПСА И СОИ.
- **ПЛОДООВОЩНОЕ СЫРЬЕ**
  - **КОЖУРА;**
  - **ВЫЖИМКИ;**
  - **СЕМЕНА;**
  - **ПЛОДОНОЖКИ;**
  - **НЕКОНДИЦИОННЫЕ ПЛОДЫ.**
- **ДРУГИЕ ВИДЫ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**
  - **КУКУРУЗНЫЕ СТЕБЛИ И ПОЧАТКИ;**
  - **САХАРНАЯ СВЕКЛОВИЧНАЯ ПУЛЬПА;**
  - **КАРТОФЕЛЬНАЯ МЕЗГА;**
  - **ВИНОГРАДНЫЕ И ЯБЛОЧНЫЕ ВЫЖИМКИ;**
  - **ОСТАТКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ И АРОМАТИЧЕСКИХ РАСТЕНИЙ.**

5. СОСТАВ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ БИОМАССЫ

- ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНАЯ БИОМАССА ЯВЛЯЕТСЯ НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЁННЫМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМ РАСТИТЕЛЬНЫМ СЫРЬЁМ И СОСТАВЛЯЕТ ОСНОВУ БОЛЬШИНСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ. К НЕЙ ОТНОСЯТСЯ СОЛОМА ЗЛАКОВ, КУКУРУЗНЫЕ СТЕБЛИ, ДРЕВЕСНЫЕ ОСТАТКИ, ШЕЛУХА, ЖОМ, ПЛОДОВЫЕ ВЫЖИМКИ И ДРУГИЕ ПОБОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ РАСТЕНИЕВОДСТВА.
- ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ
- ВЫСОКАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ;
- УСТОЙЧИВОСТЬ К МИКРОБНОМУ РАЗРУШЕНИЮ;
- СЛОЖНАЯ МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ СТРУКТУРА;
- ВЫСОКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОТОПЛИВА, ФЕРМЕНТОВ, ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ.

ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ БИОМАССЫ:

Компонент	Содержание, %	Основная функция
Целлюлоза	35–50	Источник глюкозы после гидролиза
Гемицеллюлоза	20–35	Источник ксилозы, арабинозы и других сахаров
Лигнин	10–30	Обеспечивает прочность и защиту клеточной стенки
Экстрактивные вещества	2–10	Фенольные соединения, воски, смолы
Минеральные вещества (зола)	1–8	Макро- и микроэлементы



ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ И ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ:

Компонент	Содержание
Целлюлоза	30–50%
Гемицеллюлозы	20–30%
Лигнин	10–25%
Белки	5–15%

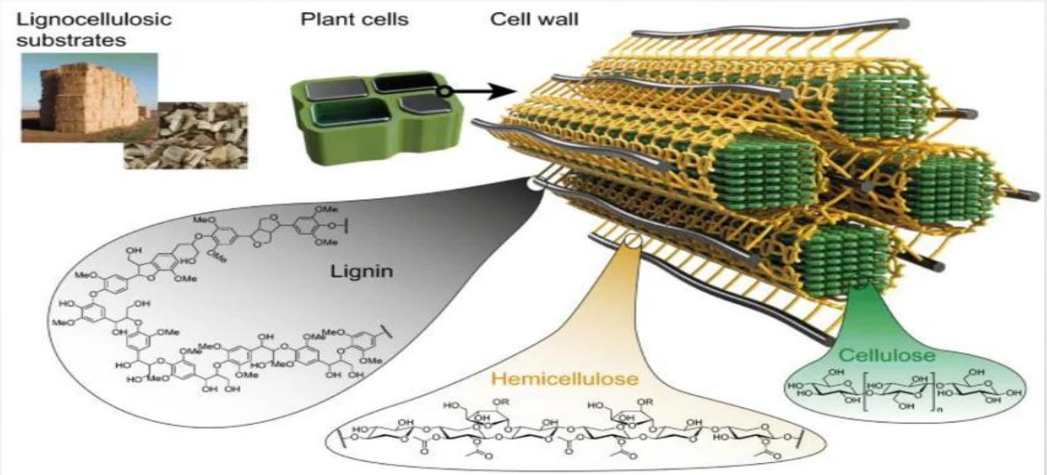
Преимущества твердофазной ферментации

БАРЬЕРЫ БИОКОНВЕРСИИ: ЛИГНИН И КРИСТАЛЛИЧНОСТЬ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Несмотря на высокое содержание углеводов, природная структура растительной клеточной стенки существенно ограничивает доступ ферментов к полисахаридам.

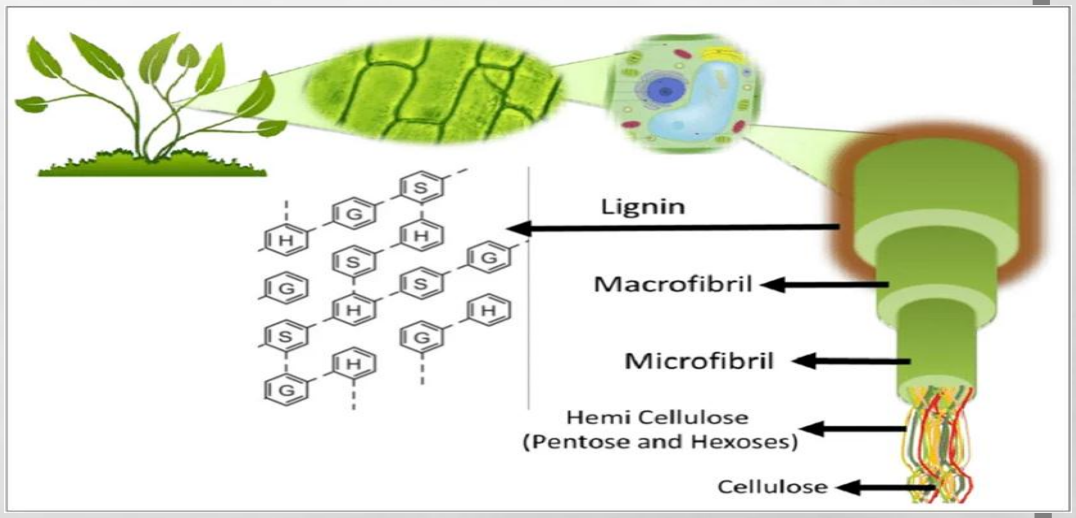
Основными факторами устойчивости являются **лигнин.** Лигнин представляет собой сложный ароматический полимер, который окружает целлюлозные микрофибриллы;

- образует прочную пространственную сеть;
- препятствует проникновению ферментов;
- необратимо связывает часть гидролитических ферментов;
- снижает эффективность гидролиза.



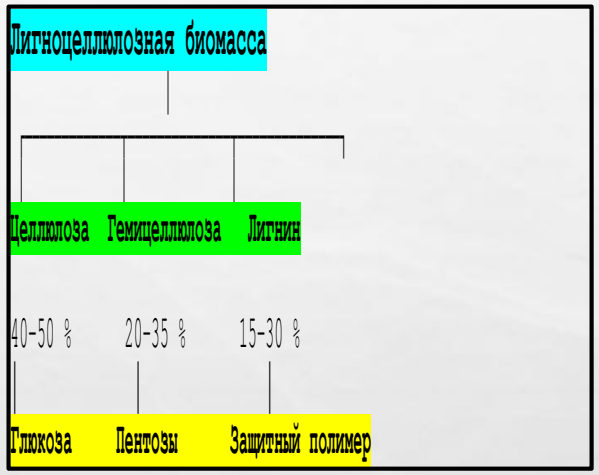
Кристалличность целлюлозы. Целлюлоза состоит из длинных цепей β-(1→4)-глюкозы, формирующих плотные микрофибриллы. Высокая степень кристалличности приводит к:

- уменьшению площади контакта ферментов;
- снижению скорости гидролиза;
- увеличению продолжительности процесса. Кроме того, существенное влияние оказывают:
- высокая степень полимеризации;
- низкая пористость клеточной стенки;
- прочные связи между целлюлозой, гемицеллюлозой и лигнином. Поэтому перед ферментативной обработкой всегда проводят предварительную подготовку растительного сырья.



Лигноцеллюлозный комплекс — ключевой барьер

Целлюлоза	каркас
Гемицеллюлоза	матрица
Лигнин	защитный барьер



Лигноцеллюлозный комплекс требует предварительной биообработки

4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА СЫРЬЯ

Предварительная обработка (pretreatment) направлена на разрушение структуры лигноцеллюлозной биомассы и повышение доступности полисахаридов для ферментов. После предварительной обработки:

1. уменьшается содержание лигнина;
2. возрастает пористость материала;
3. увеличивается площадь поверхности;
4. снижается кристалличность целлюлозы;
5. значительно повышается эффективность ферментативного гидролиза.

Основные методы

Метод	Основное действие
Механический	измельчение, увеличение площади поверхности
Физический	паровой взрыв, горячая вода, микроволны
Химический	кислоты, щёлочи, органосольвенты
Физико-химический	аммиачная обработка, CO_2-взрыв
Биологический	грибы белой гнили, ферментные комплексы

СХЕМЫ. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА СЫРЬЯ

Растительные отходы

|

Предварительная обработка

|

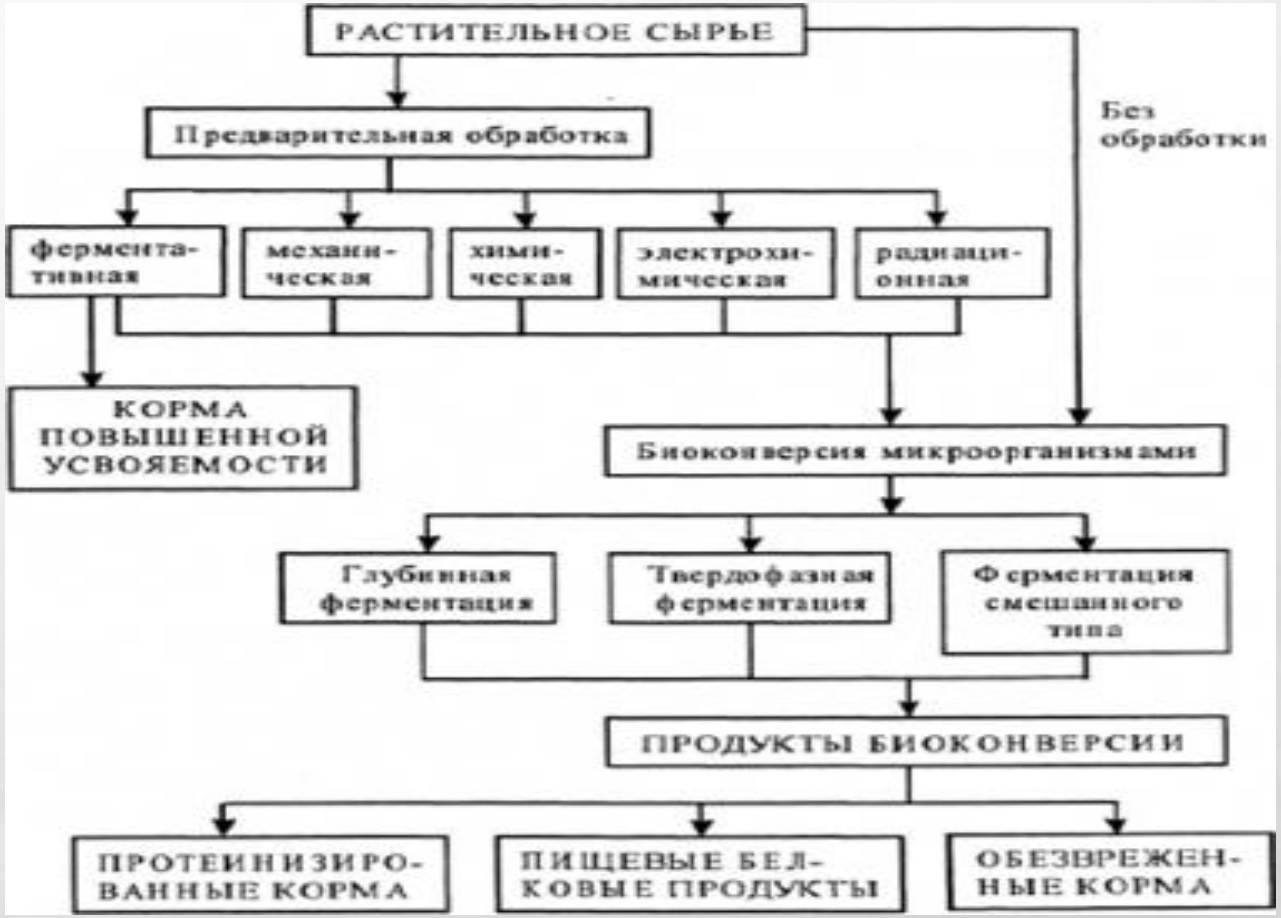
механическая
физическая
химическая
биологическая

|

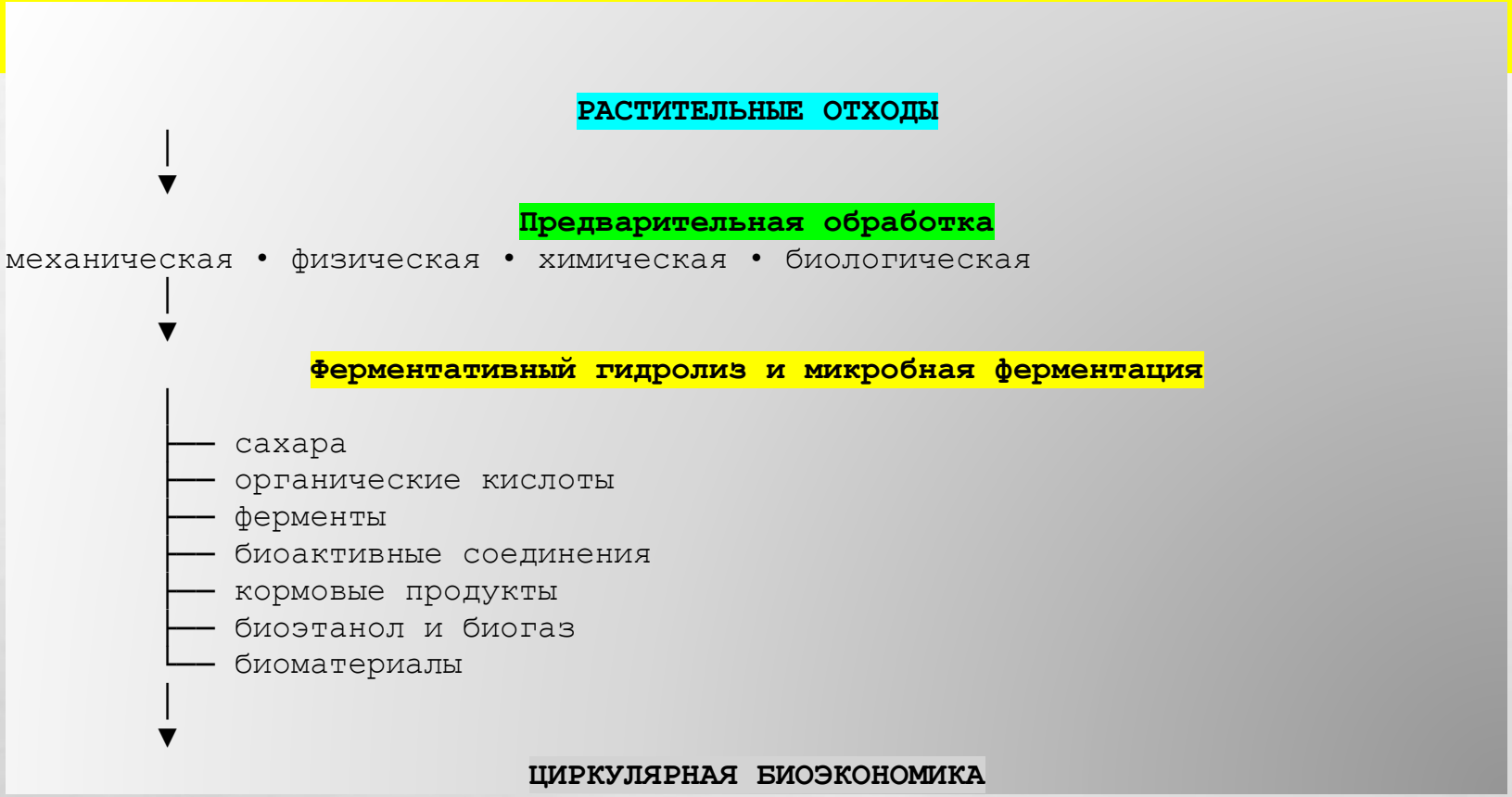
Разрушение структуры лигноцеллюлозы

|

Повышение доступности целлюлозы



ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ БИОКОНВЕРСИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ И ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ



8. ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ ГИДРОЛИЗ

- **Ферментативный гидролиз** представляет собой процесс расщепления полисахаридов растительной клеточной стенки до растворимых сахаров под действием гидролитических ферментов.

Полученные моносахариды при **ферментативном гидролизе** используются для синтеза:

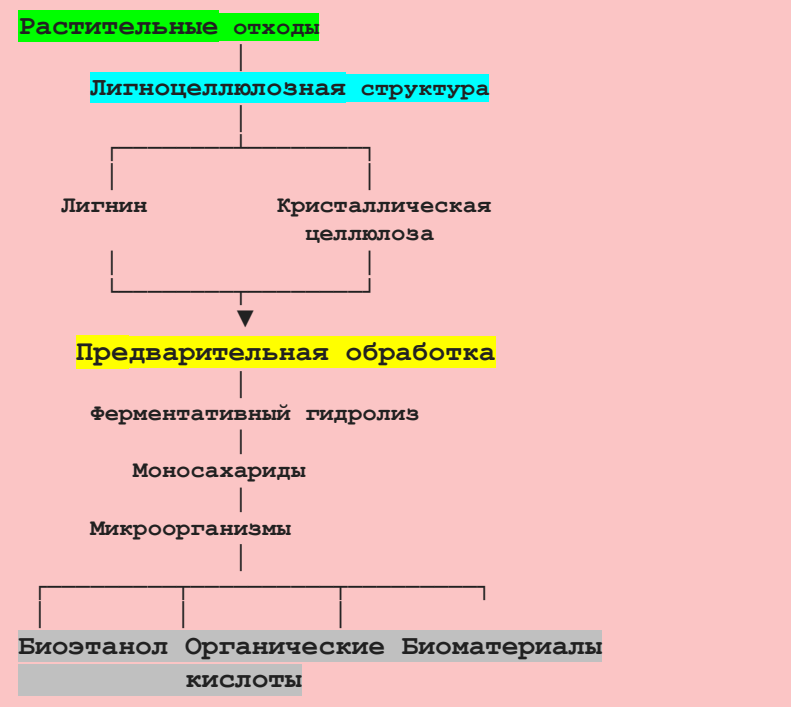
- биоэтанола;
- молочной кислоты;
- лимонной кислоты;
- биополимеров;
- кормовых белков;
- микробной биомассы.

Основные ферменты для гидролиза

Фермент	Основной субстрат	Продукт
Эндоглюканазы	Целлюлоза	Олигосахариды
Экзоглюканазы (целлобиогидролазы)	Целлюлоза	Целлобиоза
β-глюкозидазы	Целлобиоза	Глюкоза
Ксиланазы	Гемицеллюлоза	Ксилоза
Маннаназы	Маннаны	Манноза
Пектиназы	Пектин	Галактуроновая кислота

МИКРООРГАНИЗМЫ-ДЕСТРУКТОРЫ

Биологическое разрушение растительной биомассы осуществляется специализированными микроорганизмами, синтезирующими широкий спектр гидролитических и окислительных ферментов.



Микроорганизмы	Основные ферменты	Применение
Trichoderma reesei	Целлюлазы	Производство ферментных препаратов
Aspergillus niger	Ксиланазы, пектиназы	Пищевая и ферментная промышленность
Phanerochaete chrysosporium	Лигнинпероксидаза, Mn-пероксидаза	Разрушение лигнина
Pleurotus ostreatus	Лакказы	Биоделигнификация
Bacillus spp.	Целлюлазы, ксиланазы	Кормовая биотехнология
Clostridium thermocellum	Целлюлосомы	Консолидированная биопереработка
Saccharomyces cerevisiae	Ферментация сахаров	Производство биоэтанола

ПРЕИМУЩЕСТВА ТВЕРДОФАЗНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ

ТВЕРДОФАЗНАЯ ФЕРМЕНТАЦИЯ (SOLID-STATE FERMENTATION, SSF) — КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ НА УВЛАЖНЁННЫХ ТВЁРДЫХ СУБСТРАТАХ ПРИ НИЗКОМ СОДЕРЖАНИИ СВОБОДНОЙ ВОДЫ.

1. ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

- ПРИМЕНЕНИЕ ОТРУБЕЙ, СОЛОМЫ, ЖОМА, ШЕЛУХИ И ДРУГИХ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ АПК.
- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ОДНОВРЕМЕННО КАК СУБСТРАТА И ИСТОЧНИКА ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ.

2. ВЫСОКАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ

- ВОЗМОЖНОСТЬ ЭФФЕКТИВНОГО СИНТЕЗА ЦЕЛЛЮЛАЗ, КСИЛАНАЗ, АМИЛАЗ, ПРОТЕАЗ И ДРУГИХ ФЕРМЕНТОВ.
- ПОЛУЧЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ, БИОАКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И МИКРОБНЫХ МЕТАБОЛИТОВ.

3. РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

- НИЗКОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ ВОДЫ ПО СРАВНЕНИЮ С ГЛУБИННОЙ ФЕРМЕНТАЦИЕЙ.
- УМЕНЬШЕНИЕ ОБЪЁМА ЖИДКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТОКОВ.
- ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕДОРОГИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СУБСТРАТОВ.

4. БЛАГОПРИЯТНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ГРИБНЫХ КУЛЬТУР

УСЛОВИЯ, БЛИЗКИЕ К ЕСТЕСТВЕННОМУ РОСТУ МНОГИХ МИЦЕЛИАЛЬНЫХ ГРИБОВ.

ВОЗМОЖНОСТЬ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ ПОРИСТЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СУБСТРАТОВ.

5. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

- ПРОИЗВОДСТВО ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ И КОРМОВЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ.
- БИОКОНВЕРСИЯ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ОСТАТКОВ.
- ПОЛУЧЕНИЕ БИОПРОДУКТОВ С ВЫСОКОЙ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТЬЮ.

Основной вывод: Твердофазная ферментация является перспективной ресурсосберегающей технологией переработки растительных отходов, особенно при производстве промышленных ферментов и функциональных биопродуктов.

7. ТВЕРДОФАЗНАЯ ФЕРМЕНТАЦИЯ

Твердофазная ферментация (ТФФ; *solid-state fermentation, SSF*) — это культивирование микроорганизмов на увлажнённом твёрдом субстрате при отсутствии свободной водной фазы или при её минимальном содержании.

В КАЧЕСТВЕ СУБСТРАТОВ ИСПОЛЬЗУЮТ:

- ПШЕНИЧНЫЕ И РИСОВЫЕ ОТРУБИ;
- СОЛОМУ ЗЛАКОВ;
- КУКУРУЗНЫЕ ПОЧАТКИ И СТЕБЛИ;
- ЖМЫХ И ШРОТ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР;
- ФРУКТОВЫЕ И ОВОЩНЫЕ ВЫЖИМКИ;
- СВЕКЛОВИЧНЫЙ ЖОМ;
- ПИВНУЮ ДРОБИНУ.

ОСНОВНЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ

НАИБОЛЕЕ ЧАСТО В ТФФ ПРИМЕНЯЮТ МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ГРИБЫ:

- *Aspergillus niger*;
- *Aspergillus oryzae*;
- *Trichoderma reesei*;
- *Rhizopus oligosporus*;
- *Pleurotus ostreatus*.

- Также используются бактерии родов *Bacillus*, *Lactobacillus* и некоторые дрожжи.

ОСНОВНЫЕ ПРОДУКТЫ ТВЕРДОФАЗНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ ТФФ

В ПРОЦЕССЕ ТВЕРДОФАЗНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ ПОЛУЧАЮТ:

- **ЦЕЛЛЮЛАЗЫ, КСИЛАНАЗЫ, ПЕКТИНАЗЫ И ФИТАЗЫ;**
- **ОРГАНИЧЕСКИЕ КИСЛОТЫ;**
- **МИКРОБНЫЙ БЕЛОК;**
- **ПИГМЕНТЫ И АРОМАТИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ;**
- **АНТИОКСИДАНТЫ;**
- **ОБОГАЩЁННЫЕ КОРМОВЫЕ ДОБАВКИ;**
- **БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ.**

ПРЕИМУЩЕСТВА ТВЕРДОФАЗНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ. ОГРАНИЧЕНИЯ

ПРЕИМУЩЕСТВА

- возможность использования дешёвых растительных отходов;
- низкое потребление воды;
- высокая концентрация продукта;
- меньший объём сточных вод;
- условия, близкие к естественной среде обитания грибов;
- сравнительно низкие энергозатраты.

ОГРАНИЧЕНИЯ

- сложность равномерного перемешивания;
- неоднородность температуры и влажности;
- затруднённый отвод метаболического тепла;
- сложность автоматического контроля процесса;
- трудности масштабирования.

ИНТЕГРИРОВАННАЯ СХЕМА БИОКОНВЕРСИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ И ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Растительный субстрат

отруби • солома • жмых • выжимки

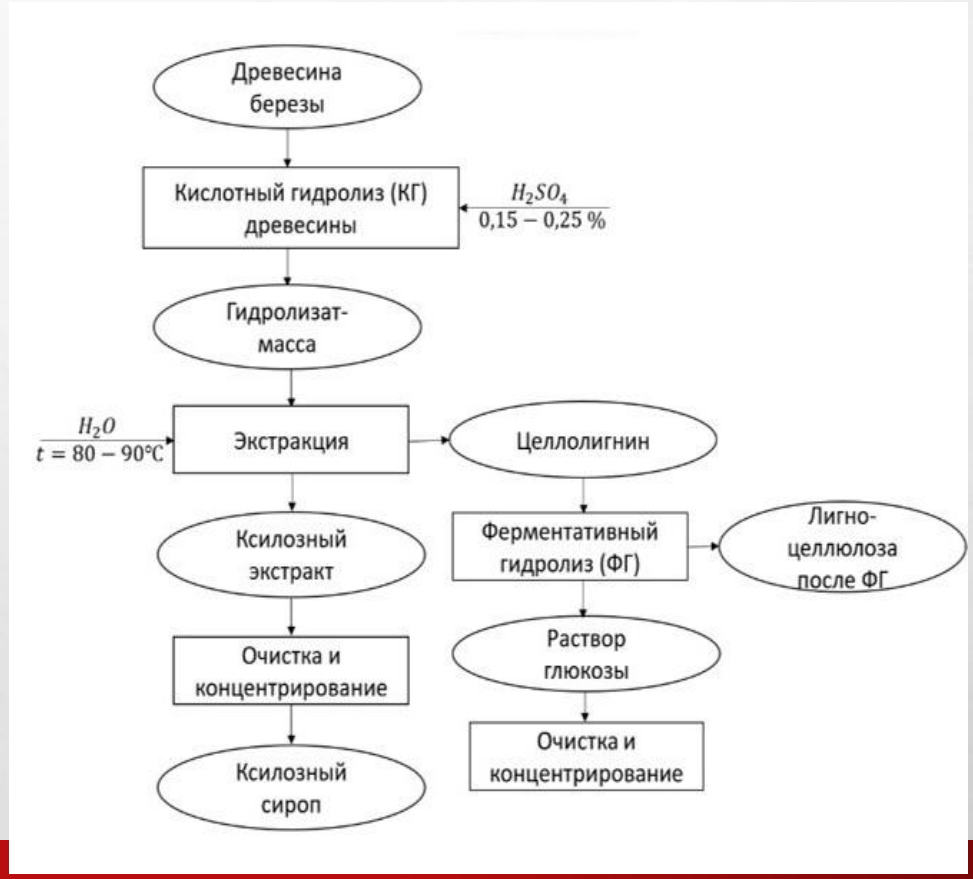
Увлажнение и стерилизация

Внесение культуры

Твердофазная ферментация

Ферменты Метаболиты Обогащённый субстрат

Промышленная и кормовая биотехнология



ПОЛУЧЕНИЕ ПРОДУКТОВ С ВЫСОКОЙ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТЬЮ

Биоконверсия растительных отходов позволяет получать продукты, стоимость и функциональность которых значительно превышают стоимость исходного сырья.

Основные группы продуктов добавленной стоимостью
Биоконверсия растительных отходов

Группа продуктов	Примеры	Исходное растительное сырьё	Группа продуктов
Ферменты	Целлюлазы, ксиланазы, пектиназы, фитазы, лакказы	Солома, отруби, жом, выжимки	**Ферменты**
Органические кислоты	Молочная, лимонная, янтарная кислоты	Гидролизаты целлюлозы и гемицеллюлозы	**Органические кислоты**
Биотопливо	Биоэтанол, биобутанол, биогаз, водород	Солома, кукурузные остатки, жом	**Биотопливо**
Кормовые продукты	Микробный белок, ферментированные корма	Жмых, шрот, отруби, солома	**Кормовые продукты**
Биоактивные соединения	Полифенолы, антиоксиданты, пептиды	Виноградные и плодовые выжимки	**Биоактивные соединения**
Биополимеры	Полигидроксиалканоаты, молочная кислота для PLA	Ферментируемые сахара	**Биополимеры**
Пребиотики	Ксилоолигосахариды,	Гемицеллюлоза и растительные	**Пребиотики**
Биоматериалы	**Биоуголь, целлюлозные волокна, упаковочные материалы**	**Солома, шелуха, лигнин**	**Биоматериалы**

Принцип каскадного использования растительных отходов

Каскадное использование биомассы — последовательная переработка растительного сырья, при которой сначала извлекают наиболее ценные компоненты, а оставшиеся фракции направляют на получение других полезных продуктов.

1. Выделение высокоценных компонентов

Экстракция фенольных соединений, пигментов, белков и других биоактивных веществ.

Получение функциональных ингредиентов для пищевой и биотехнологической промышленности.

2. Ферментативная биоконверсия

Гидролиз целлюлозы, гемицеллюлоз и остаточного крахмала.

Получение ферментируемых сахаров, олигосахаридов и белковых гидролизатов.

3. Микробная ферментация

Преобразование доступных сахаров в органические кислоты, спирты и другие метаболиты.

Использование микроорганизмов для получения ферментов и микробной биомассы.

4. Энергетическая утилизация остаточных фракций

Анаэробное сбраживание подходящих органических остатков с получением биогаза.

Использование остаточной биомассы для производства энергии при соблюдении экологических требований.

Схема каскадной биоконверсии

Растительные отходы и побочные продукты

Отруби, солома, жом, выжимки

Извлечение ценных соединений

Фенолы, белки, пищевые ингредиенты

Ферментативный гидролиз оставшихся фракций

Сахара, олигосахариды

Микробная ферментация

Органические кислоты, спирты, биопродукты

Использование остаточных фракций

Биогаз, энергия, другие продукты

Преимущества каскадного подхода:

Более полное использование компонентов растительной биомассы.

Получение нескольких видов продукции из одного источника сырья.

Снижение количества остаточных отходов.

Повышение экономической эффективности и устойчивости биопроизводства.

Основной вывод: Каскадная биоконверсия позволяет максимально использовать ресурсный потенциал растительных отходов, сочетая получение высокоценных биопродуктов с энергетической переработкой остаточной биомассы.

ПРИНЦИП КАСКАДНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОКОНВЕРСИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНЫМ ЯВЛЯЕТСЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ НЕСКОЛЬКИХ ПРОДУКТОВ ИЗ ОДНОГО ВИДА СЫРЬЯ.

НАПРИМЕР, ИЗ ПШЕНИЧНОЙ СОЛОМЫ МОЖНО ПОЛУЧИТЬ:

1. ФЕНОЛЬНЫЕ И ЭКСТРАКТИВНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ;
2. ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗНЫЕ САХАРА;
3. ГЛЮКОЗУ ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ;
4. БИОЭТАНОЛ ИЛИ ОРГАНИЧЕСКИЕ КИСЛОТЫ;
5. ЛИГНИН ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОМАТЕРИАЛОВ ИЛИ ЭНЕРГИИ.

- ТАКОЙ ПОДХОД ОБЕСПЕЧИВАЕТ НАИБОЛЕЕ ПОЛНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ.

9. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА биоконверсии растительных отходов

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

- БИОКОНВЕРСИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ СПОСОБСТВУЕТ:
- УМЕНЬШЕНИЮ КОЛИЧЕСТВА ОТХОДОВ, НАПРАВЛЯЕМЫХ НА СЖИГАНИЕ И ЗАХОРОНЕНИЕ;
- СНИЖЕНИЮ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ;
- СОКРАЩЕНИЮ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ;
- ЗАМЕЩЕНИЮ ИСКОПАЕМОГО СЫРЬЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ БИОМАССОЙ;
- ВОЗВРАТУ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ЦИКЛ;
- РАЗВИТИЮ БЕЗОТХОДНЫХ И МАЛООТХОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕШЁВОГО И ДОСТУПНОГО МЕСТНОГО СЫРЬЯ;
- ПОЛУЧЕНИЕ НЕСКОЛЬКИХ ПРОДУКТОВ ИЗ ОДНОЙ БИОМАССЫ;
- СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ НА УТИЛИЗАЦИЮ ОТХОДОВ;
- СОЗДАНИЕ ПРОДУКЦИИ С ВЫСОКОЙ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТЬЮ;
- ДИВЕРСИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА АГРАРНЫХ И ПИЩЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ;
- РАЗВИТИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ.

ОСНОВНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ БИОКОНВЕРСИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Ограничение	Последствие
Сезонность образования сырья	Необходимость хранения и создания запасов
Неоднородность состава биомассы	Изменение выхода и качества продукта
Высокая устойчивость лигноцеллюлозы	Необходимость предварительной обработки
Образование ингибиторов	Снижение активности ферментов и микроорганизмов
Стоимость ферментных препаратов	Повышение себестоимости
Сложность масштабирования	Различия между лабораторными и промышленными условиями
Высокие затраты на выделение продукта	Удорожание downstream-процессов
Требования биобезопасности	**Необходимость строгого контроля культур и продукции**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1. РАСТИТЕЛЬНЫЕ ОТХОДЫ И ПОБОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ АПК ЯВЛЯЮТСЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМ ИСТОЧНИКОМ УГЛЕВОДОВ, БЕЛКОВ, ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.
- 2. ФЕРМЕНТАТИВНАЯ БИОКОНВЕРСИЯ ОБЕСПЕЧИВАЕТ НАПРАВЛЕННЫЙ ГИДРОЛИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ БИОПОЛИМЕРОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ САХАРОВ, ОЛИГОСАХАРИДОВ И ДРУГИХ ЦЕННЫХ ПРОДУКТОВ.
- 3. МИКРОБНАЯ ФЕРМЕНТАЦИЯ ПОЗВОЛЯЕТ ПРЕОБРАЗОВЫВАТЬ РАСТИТЕЛЬНЫЕ СУБСТРАТЫ В ОРГАНИЧЕСКИЕ КИСЛОТЫ, ФЕРМЕНТЫ, СПИРТЫ, МИКРОБНУЮ БИОМАССУ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИНГРЕДИЕНТЫ.
- 4. ТВЕРДОФАЗНАЯ ФЕРМЕНТАЦИЯ СПОСОБСТВУЕТ ЭФФЕКТИВНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ, СНИЖЕНИЮ ПОТРЕБЛЕНИЯ ВОДЫ И ПОЛУЧЕНИЮ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ.
- 5. КАСКАДНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМАССЫ ОБЪЕДИНЯЕТ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ ГИДРОЛИЗ, МИКРОБНУЮ ФЕРМЕНТАЦИЮ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ФРАКЦИЙ.
- 6. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БИОКОНВЕРСИИ ПОВЫШАЮТ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ, СПОСОБСТВУЮТ СОКРАЩЕНИЮ ОТХОДОВ И РАЗВИТИЮ ЦИРКУЛЯРНОЙ БИОЭКОНОМИКИ.
- ОСНОВНОЙ ВЫВОД: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БИОКОНВЕРСИИ ПОЗВОЛЯЮТ ПРЕОБРАЗОВЫВАТЬ РАСТИТЕЛЬНЫЕ ОТХОДЫ В ЦЕННЫЕ БИОПРОДУКТЫ, ОБЕСПЕЧИВАЯ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ И РАЗВИТИЕ УСТОЙЧИВОГО БИОПРОИЗВОДСТВА.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. ЧТО ПОНИМАЮТ ПОД БИОКОНВЕРСИЕЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ И ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ?
2. В ЧЁМ РАЗЛИЧИЕ МЕЖДУ РАСТИТЕЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ, ПОБОЧНЫМИ ПРОДУКТАМИ И ВТОРИЧНЫМИ РАСТИТЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ?
3. КАКИЕ ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ОТХОДОВ ОБРАЗУЮТСЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЗЕРНОВЫХ, МАСЛИЧНЫХ И ПЛОДООВОЩНЫХ КУЛЬТУР?
4. КАКИЕ КОМПОНЕНТЫ ВХОДЯТ В СОСТАВ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ БИОМАССЫ?
5. КАКОВА СТРУКТУРНАЯ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТОЧНОЙ СТЕНКЕ?
6. ЧЕМ ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗА ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПО СТРОЕНИЮ И СОСТАВУ МОНОМЕРОВ?
7. ПОЧЕМУ ЛИГНИН ЯВЛЯЕТСЯ ОДНИМ ИЗ ГЛАВНЫХ БАРЬЕРОВ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ БИОКОНВЕРСИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ?
8. КАК КРИСТАЛЛИЧНОСТЬ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ВЛИЯЕТ НА ДОСТУПНОСТЬ СУБСТРАТА ДЛЯ ГИДРОЛИТИЧЕСКИХ ФЕРМЕНТОВ?
9. КАКОВА ЦЕЛЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНОГО СЫРЬЯ?
10. КАКИЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ, ФИЗИЧЕСКИЕ, ХИМИЧЕСКИЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИМЕНЯЮТ В БИОТЕХНОЛОГИИ?
11. В ЧЁМ ЗАКЛЮЧАЮТСЯ ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ КИСЛОТНОЙ И ЩЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ БИОМАССЫ?
12. КАКИЕ ИНГИБИРУЮЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ МОГУТ ОБРАЗОВЫВАТЬСЯ ПРИ ЖЁСТКОЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ?
13. КАКИЕ ФЕРМЕНТЫ УЧАСТВУЮТ В ПОЛНОМ ГИДРОЛИЗЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДО ГЛЮКОЗЫ?
14. КАК ВЗАИМОДЕЙСТВУЮТ ЭНДОГЛЮКАНАЗЫ, ЦЕЛЛОБИОГИДРОЛАЗЫ И B-ГЛЮКОЗИДАЗЫ?
15. КАКИЕ ФЕРМЕНТЫ ОБЕСПЕЧИВАЮТ РАЗРУШЕНИЕ ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПЕКТИНА И ЛИГНИНА?
16. КАКИЕ БАКТЕРИИ И МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ГРИБЫ ИСПОЛЬЗУЮТ ДЛЯ ДЕСТРУКЦИИ ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ БИОМАССЫ?

1. КАКУЮ РОЛЬ ВЫПОЛНЯЮТ *TRICHODERMA REESEI*, *ASPERGILLUS NIGER* И ГРИБЫ БЕЛОЙ ГНИЛИ?
2. ЧТО ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ТВЕРДОФАЗНАЯ ФЕРМЕНТАЦИЯ?
3. ЧЕМ ТВЕРДОФАЗНАЯ ФЕРМЕНТАЦИЯ ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ ГЛУБИННОГО КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ?
4. КАКИЕ ПАРАМЕТРЫ НЕОБХОДИМО КОНТРОЛИРОВАТЬ ПРИ ТВЕРДОФАЗНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ?
5. КАКИЕ РАСТИТЕЛЬНЫЕ ОТХОДЫ МОГУТ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ КАК СУБСТРАТЫ ДЛЯ ТВЕРДОФАЗНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ?
6. КАКИЕ ФЕРМЕНТЫ, МЕТАБОЛИТЫ И КОРМОВЫЕ ПРОДУКТЫ ПОЛУЧАЮТ МЕТОДОМ ТВЕРДОФАЗНОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ?
7. КАКИЕ ПРОДУКТЫ С ВЫСОКОЙ ДОБАВЛЕННОЙ СТОИМОСТЬЮ МОГУТ БЫТЬ ПОЛУЧЕНЫ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ?
8. В ЧЁМ ЗАКЛЮЧАЕТСЯ ПРИНЦИП КАСКАДНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ?
9. ЧТО ПОНИМАЮТ ПОД ИНТЕГРИРОВАННОЙ БИОРЕФИНЕРИЕЙ?
10. КАКИЕ ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ВКЛЮЧАЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ БИОРЕФИНЕРИИ?
11. В ЧЁМ РАЗЛИЧИЕ МЕЖДУ РАЗДЕЛЬНЫМ ГИДРОЛИЗОМ И ФЕРМЕНТАЦИЕЙ — SHF — И ОДНОВРЕМЕННЫМ ОСАХАРИВАНИЕМ И ФЕРМЕНТАЦИЕЙ — SSF?
12. ЧТО ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ КОНСОЛИДИРОВАННАЯ БИОПЕРЕРАБОТКА — CBP?
13. КАК ОСТАТОЧНЫЙ ЛИГНИН И НЕФЕРМЕНТИРУЕМАЯ БИОМАССА МОГУТ БЫТЬ ИСПОЛЬЗОВАНЫ В РАМКАХ БИОРЕФИНЕРИИ?
14. КАКОВЫ ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БИОКОНВЕРСИИ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **ЗАГОСКИНА Н.В., НАЗАРЕНКО Л.В., РЕД.** БИОТЕХНОЛОГИЯ: УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ ДЛЯ ВУЗОВ. 4-Е ИЗД., ИСПР. И ДОП. МОСКВА: ЮРАЙТ; 2023. 384 С. ISBN 978-5-534-16026-0. (УРАЙТ)
2. **ЧЕЧИНА О.Н.** ОБЩАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ: УЧЕБНИК ДЛЯ ВУЗОВ. 3-Е ИЗД., ПЕРЕРАБ. И ДОП. МОСКВА: ЮРАЙТ; 2025. 266 С. ISBN 978-5-534-13660-9. (УРАЙТ)
3. **ЗАГОСКИНА Н.В., НАЗАРЕНКО Л.В.** ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ: УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ ДЛЯ ВУЗОВ. МОСКВА: ЮРАЙТ; 2025. 99 С. ISBN 978-5-534-16030-7. В ИЗДАНИИ РАССМОТРЕНЫ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ТВЁРДЫХ ОТХОДОВ И ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ. (УРАЙТ)
4. **ХЛЕБОВА Л.П., БЫЧКОВА О.В.** ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ. ЧАСТЬ 2: БИОДЕГРАДАЦИЯ, БИОРЕМЕДИАЦИЯ И БИОКОНВЕРСИЯ ОТХОДОВ И КСЕНОБИОТИКОВ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВУЗОВ. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ: ЛАНЬ. (ЛАНЬ)
5. **СТЕПАНОВА Н.Ю.** ОСНОВЫ БИОТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ. ЧАСТЬ 1: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ: СПБГАУ; 2019. (ЛАНЬ)
6. **ЕРЁМЕНКО О.Н., ИСАЕВА Е.В., ПОЧЕКУТОВ И.С.** ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ БИОКОНВЕРСИИ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ. КРАСНОЯРСК: СИБГУ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ. (ЛАНЬ)
7. **ПРОСЕКОВ А.Ю., НЕВЕРОВА О.А., ПИЩИКОВ Г.Б., ПОЗНЯКОВСКИЙ В.М.** ПИЩЕВАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ИЗ СЫРЬЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ: УЧЕБНИК. 2-Е ИЗД. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ: ЛАНЬ. (ЛАНЬ)
8. **ЕРЁМЕНКО О.Н., ИСАЕВА Е.В.** ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СУБСТРАТОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ. КРАСНОЯРСК: СИБГТУ; 2014. 120 С. **MUJTABA M., FRACETO L.F., FAZELI M., ET AL.** LIGNOCELLULOSIC BIOMASS FROM AGRICULTURAL WASTE TO THE CIRCULAR ECONOMY: A REVIEW OF RECENT DEVELOPMENTS IN BIOREFINERY TECHNOLOGIES. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*. 2023.
   СТАТЬЯ РАССМАТРИВАЕТ КОМПЛЕКСНУЮ ПЕРЕРАБОТКУ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ГЕМИЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ЛИГНИНА В БИОТОПЛИВО, ПЛАТФОРМЕННЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ, БИОПЛАСТИКИ И МАТЕРИАЛЫ. (SCIENCEDIRECT)
9. **PERWEZ M., MONDAL S., SAHA R., ET AL.** VALORIZATION OF AGRO-INDUSTRIAL WASTE THROUGH SOLID-STATE FERMENTATION FOR THE PRODUCTION OF VALUE-ADDED PRODUCTS. 2024.
   ОБЗОР ПОСВЯЩЁН ФАКТОРАМ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИМ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТФФ, ВЫБОРУ СУБСТРАТОВ, МИКРООРГАНИЗМОВ И ЦЕЛЕВЫХ ПРОДУКТОВ. (PMC)
10. **NARGOTRA P., SHARMA V., GUPTA M., ET AL.** MICROBIAL LIGNOCELLULOLYTIC ENZYMES FOR THE EFFECTIVE VALORIZATION OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS: PRODUCTION, IMMOBILIZATION AND APPLICATIONS. *CATALYSTS*. 2023;13(1):83.
    РАССМОТРЕНЫ ЦЕЛЛЮЛАЗЫ, ГЕМИЦЕЛЛЮЛАЗЫ И ЛИГНИНОЛИТИЧЕСКИЕ ФЕРМЕНТЫ, ИХ ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ В БИОКОНВЕРСИИ. (MDPI)
11. **WOŹNIAK A., ET AL.** REVIEW OF LIGNOCELLULOSIC BIOMASS PRETREATMENT USING PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL METHODS. *SUSTAINABILITY*. 2025;17(1):287.
    ИСТОЧНИК ПОДХОДИТ ДЛЯ РАЗДЕЛОВ О ПАРОВОМ ВЗРЫВЕ, ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ, ДОСТУПНОСТИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ПОСЛЕДУЮЩЕМ ОСАХАРИВАНИИ. (MDPI)