**КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. АЛЬ-ФАРАБИ**

**Факультет Биологии и биотехнологии**

**«8D05112»** – Экологическая биоинженерия

102087 Технологическая биоэнергетика и биологическая переработка отходов

Преподаватель – Садвакасова А. К.

***Лекция 1***

Технологическая биоэнергетика и предмет и задачи биологической переработки отходов, основные направления и перспективы развития.

Цель лекции: Предоставить понимание ключевых аспектов и значимости технологической биоэнергетики и биологической переработки отходов.

Лекция направлена на формирование следующих основных знаний и понимания:

1. Роли и важности технологической биоэнергетики и биологической переработки отходов в современном мире.
2. Понятия и основных задач биологической переработки отходов.
3. Основных направлений технологической биоэнергетики и развития в мире

Современных вызовов и перспектив развития технологической биоэнергетики и биологической переработки отходов.

Одной из глобальных проблем современности является эколого-энергетический кризис. Его суть заключается в отчетливом проявлении и углублении противоречий между производительной деятельностью человека и стабильностью среды его обитания. В настоящее время возможности приспособления организма человека к тем изменениям, которые он сам внес в окружающий мир, близки к исчерпанию. Современную экологическую ситуацию можно свести к трем основным моментам: 1) имеет место чрезмерно быстрое истощение природных ресурсов (сырьевых, энергетических); 2) происходит чрезмерно быстрое загрязнение природной среды; 3) наблюдается чрезмерно быстрый рост численности населения. Перспективным направлением решения этой проблемы является разработка биоэнергетических технологий и расширение сферы их применения.

**Биоэнергетика**– это наука, изучающая механизмы и закономерности преобразования энергии в процессах жиз­недеятельности организмов, энергетические процессы в биосфере. Биоэнергетика является и научной дисциплиной с фундаментальным и прикладным направлениями, которая изучает и разрабатывает направления биологической конверсии солнечной энергии в биомассу, а также биологическую и термохимическую трансформацию биомассы в топливо и энергию.

**Технологическая биоэнергетика** — одно из направлений биотехнологии, связанное с эффективным использованием энергии, запасаемой при фотосинтезе. Это может быть достигнуто путем:

* превращения биомассы, накопленной в результате фотосинтеза в дешевое и высококалорийное топливо — метан и другие углеводороды, этанол и т. д.;
* модификации самого процесса фотосинтеза, в результате которой энергия света с максимальной эффективностью используется на образование водорода или другого топлива, минуя стадию фотоассимиляции СО2 и синтеза компонентов клетки.

В промышленно развитых странах в изобилии имеется широкий спектр сырья для производства биотоплива, включая отходы сельского и лесного хозяйства, строительные и промышленные отходы, а также твердые бытовые отходы (ТБО). Биотопливо, получаемое из этого сырья, относится к категории *биотоплива второго поколения*. В отличие от *биотоплива первого поколения*, получаемого из съедобных пищевых культур (например, сахарного тростника, пшеницы, ячменя, кукурузы, картофеля, сои, подсолнечника и кокоса), биотопливо второго поколения получают из лигноцеллюлозных материалов (например, ятрофы, маниоки, просо, древесины и соломы) и остатков биомассы. Использование остатков биомассы и отходов в качестве основного ресурса для производства биотоплива является многообещающим предложением по уменьшению экологических проблем, связанных с удалением отходов, путем преобразования отходов, которые в противном случае были бы оставлены для разложения, в полезное биотопливо. Другая биомасса, а именно водоросли, используется в качестве сырья для производства *биотоплива третьего поколения*, благодаря их высокому потенциалу производить большое количество липидов, пригодных для производства биодизеля. Кроме того, эта быстрорастущая биомасса может быть непосредственно использована для производства широкого спектра биотоплива.

Можно выделить следующие направления развития эколого-ориентированной биоэнергетики:

• технологии производства твердого биотоплива (производство брикетов, пеллет и торфяных брикетов),

• технологии производства газообразного биотоплива (биогаз),

• технологии производства жидкого биотоплива (биодизель, биоэтанол и биометанол),

• технологии производства электроэнергии и тепла из биомассы и биоотходов.

Эти направления биоэнергетики имеют большой потенциал для улучшения устойчивости энергетического сектора и снижения негативного воздействия на окружающую среду. Развитие эффективных технологий, повышение эффективности процессов и увеличение доли биоэнергии в энергетическом миксе являются ключевыми задачами в мировой технологической биоэнергетике.

***Лекция 2***

Биоэнергетика. Различные виды биотоплива и технологии их производства.

Цель лекции: Рассмотреть биоэнергетику как важный компонент устойчивой энергетики. Лекция направлена на формирование следующих основных знаний и понимания:

1. Изучение различных видов биотоплива.
2. Понимание технологий производства биотоплива.
3. Практического применения биотоплива

**Биотопливо** - топливо из растительного или животного сырья, из продуктов жизнедеятельности организмов или органических промышленных отходов, получаемое из биомассы термохимическим или биологическим способом.

Биотопливо классифицируют по агрегатному состоянию и поколениям.

*По агрегатному состоянию* различают жидкую биомассу (обычно применяют для двигателей внутреннего сгорания); твёрдое биотопливо (способно гореть при условии, что топливо состоит из горючего, например дерева, и окислителя, которым часто служит кислород воздуха); газообразное – биогаз (газ, получаемый брожением биомассы), биоводород, метан.

Биотопливо, как правило, делится на первичное и вторичное. Первичное биотопливо используется в необработанном виде, в первую очередь для отопления, приготовления пищи и электричества; в основном это топливная древесина, каменный уголь. Вторичное биотопливо можно условно разделить на три поколения (на основе различных параметров, типа технологии обработки, исходного сырья и др.); производится путём переработки биомассы и используется на транспортных средствах, в различных промышленных процессах и др.

Биотопливо первого поколения производится из традиционных сельскохозяйственных культур с высоким содержанием жиров, крахмала, сахаров.

Биотопливо второго поколения получают из непищевого сырья (отработанные жиры и растительные масла, биомасса деревьев и растений). Такое сырьё содержит целлюлозу и лигнин.

Биотопливо третьего поколения получают из водорослей (не требуют земельных ресурсов, имеют большую концентрацию биомассы и высокую скорость воспроизводства).

Существует несколько вариантов технологий и процессов, доступных для преобразования энергии биомассы. Помимо метода *переэтерификации*, преобразование биомассы отходов в энергию осуществляется с использованием этих двух основных методов, которые являются термохимическим и биохимическим преобразованием. *Термохимическая конверсия* - это разложение органических компонентов биомассы с использованием тепла, тогда как биохимическая конверсия использует микроорганизмы или ферменты для преобразования биомассы или отходов в полезную энергию. Преобразование с помощью термохимической технологии включает пиролиз, газификацию, сжижение и сжигание. С другой стороны, *биохимическое преобразование* включает в себя три варианта процесса, известные как анаэробное сбраживание, спиртовое брожение и фотобиологическая реакция.

Выделяют два варианта использования биотоплива – традиционное и современное. *Традиционный* вариант подразумевает прямое сжигание биомассы для целей отопления жилища или приготовления пищи. Несмотря на то, что эффективность такого вида топлива не всегда высока, в отдаленных от основных транспортных магистралей районах (где транспортировка традиционных видов затруднена) оно остается основным источником энергии. Традиционное использование биотоплива часто сопровождается массовыми вырубками лесов и применением неэффективного оборудования для сжигания, однако для многих людей во всем мире оно остается единственным способом получения энергии в силу низкой стоимости и простоты использования.

Второй вариант использования биотоплива (*современный*) связан с преобразованием биомассы в энергию с использованием современных эффективных технологий конверсии, которые позволяют производить биотопливо в твердой (топливные пеллеты и брикеты), жидкой (биоэтанол, биометанол и биодизель) и газообразной (биогаз) формах. Современное использование биотоплива отличается от традиционной биомассы следующими характеристиками: непрерывность использования; снижение объема вредных выбросов; более высокая энергетическая эффективность.

***Лекция 3***

Перспективы производства биодизеля на основе микроводорослей.

Цель лекции: Обозначить потенциал и перспективы производства биодизеля с использованием микроводорослей. Лекция направлена на формирование следующих основных знаний и понимания:

1. Определений биодизель; микроводоросли.
2. Понимание роли микроводорослей при производстве биодизеля.
3. Изучение технологий производства биодизеля на основе микроводорослей.
4. Рассмотрение перспектив и вызовов.

В настоящее время в мире широкое внимание привлечено к производству биотоплива третьего поколения. Его получение основано на использовании в качестве сырья биомассы микроводорослей, которая по своим основным качественным показателям значительно превосходит другие сырьевые биоресурсы. Теоретические расчеты показывают, что продуктивность микроводорослей по маслу (липидам) в 100 раз превышает аналогичные показатели ряда сельскохозяйственных культур, таких как рапс, соя и масличная пальма. В среднем, липиды микроводорослей обладают энергетической ценностью – около 35800 кДж/кг, что составляет 80 % от аналогичного показателя для сырой нефти. Кроме того, биомасса микроводорослей может служить источником не только липидов, но и множества других высокоценных веществ: полиненасыщенных кислот – ω-3 и ω-6, пигментов, сахаров, витаминов и антибиотиков, которые находят широкое применение в пищевой, медицинской и сельскохозяйственной промышленности.

Из биомассы микроводорослей могут быть получены различные виды биотоплива, среди которых наибольший интерес представляет получение биогаза и биодизельного топлива.

**Биодизель –** биотопливо на основе растительных или животных жиров (масел), а также продуктов их этерификации (моноалкиловые эфиры жирных кислот). Сырьём для производства биодизеля служат жирные, реже – эфирные масла различных растений или водорослей: в Европе – рапс; США – соя; Канаде – канола (разновидность рапса); в Индонезии, на Филиппинах – пальмовое и кокосовое масло; в Индии – ятрофа; Африке – соя, ятрофа; Бразилии – касторовое масло. Также применяются отработанное растительное масло, животные жиры, рыбий жир и т. п.

Недавние исследования показали, что биодизель из микроводорослей можно использовать в качестве альтернативного топлива в обычном дизельном двигателе; таким образом, показатели выбросов выхлопных газов могут быть улучшены.  При использовании биодизеля из микроводорослей также наблюдается снижение выбросов CO и NOx. Производство биодизеля из микроводорослей в основном состоит из шести этапов, включая отбор штаммов, культивирование, сбор биомассы, сушку, извлечение липидов и переэтерификацию. В последнее время возобновляемое топливо может быть получено путем переработки жидкого биокруда, получаемого в результате термохимической конверсии биомассы, либо путем гидротермального сжижения (HTL), либо пиролиза.

Использование водорослей в качестве источника биотоплива имеет ряд преимуществ:

− в качестве территорий для выращивания водорослей могут быть использованы земли непригодные для сельского хозяйства;

− в процессе роста водоросли потребляют углекислый газ, тем самым уменьшая его эмиссию;

− биотопливо из водорослей имеет молекулярную структуру схожую со структурой нефти, что является большим плюсом для его использования в существующей транспортной техникой;

− водоросли растут в 20–30 раз быстрее наземных растений;

− для выращивания водорослей подходят пресные, соленые и даже сточные воды;

− водоросли не требует особого ухода и не нуждается в удобрениях;

− при производстве биотоплива из водорослей получают большие объемы топлива, чем из других культур.

Множество исследований показали, что биодизельное топливо из микроводорослей технически осуществимо. Тем не менее, в настоящее время в мире нет промышленного производства биодизеля из водорослей. Более высокие капитальные и эксплуатационные затраты на выращивание микроводорослей по сравнению с традиционным сельским хозяйством, недостаточно положительный энергетический баланс (после учета энергетических потребностей в воде, смешивании, СО2 и питательных веществах, сборе и переработке биомассы) и еще не установленная устойчивость все еще препятствуют развитию технологии производства биодизеля из микроводорослей в промышленных масштабах.

***Лекция 4***

Сырьевые ресурсы производства биотоплива, условия их использования и освоения.

Цель лекции: Ознакомить с сырьевыми ресурсами, необходимые для производства биотоплива. Лекция направлена на формирование следующих основных знаний и понимания:

1. Ознакомление с разнообразными видами сырья, которые могут быть использованы для производства биотоплива.
2. Условия использования сырья для производства биотоплива.

Существует множество источников биомассы для целей энергетики, рассредоточенных по обширным и разнообразным географическим регионам. *К сырью 1-го поколения* относятся классические культуры, например, сахарная свекла. Отличительной особенностью культур, относящихся к сырью 1-го поколения, является максимальное присутствие в их составе крахмалов, сахаров и жиров. Крахмалы и сахара после многоступенчатой переработки в биоэтанол, жиры в биодизель. Транспортное биотопливо в основном производится из сырья 1-го поколения. Применяются технологии, близкие к естественным биологическим и термохимическим процессам (например, брожение). Однако это сырьё используется в пище людей и животных. Т. о., помимо затратного землепользования (необходимость использования качественных пахотных земель) с истощением почв и высокими потребностями в их обработке, изъятие этого сырья с рынка прямо повлияет на цену пищевых продуктов (основной недостаток производства биотоплива первого поколения). Условная эффективность производства биотоплива из биомассы первого поколения составляет примерно 35–45%.

*К сырью 2-го поколения* относятся древесина, трава и несъедобные остатки культурных растений, содержащие целлюлозу или лигнин. Типичным представителем сырья 2-го поколения являются простейшие водоросли, растения рыжик и ятрофа с лимитирующим содержанием масла. Выращивание второго поколения требует большей рентабельности, чем первое поколение. Технологически производство биотоплива второго поколения представляет собой процесс получения топлива посредством переработки целлюлозы и лигнина, содержащихся в древесной или волокнистой биомассе, что менее затратно, чем получение биотоплива у культур первого поколения. Его можно прямо сжигать (как это традиционно делали с дровами), газифицировать (получая горючие газы), осуществлять пиролиз, который позволяет превратить биомассу в жидкость. Из жидкости можно сделать автомобильное топливо или топливо для электростанций. Условная эффективность производства биотоплива из биомассы второго поколения составляет примерно 50%. Производство биотоплива второго поколения в настоящий момент является очень капиталоёмким процессом, т. к. соответствующие технологии весьма дороги.

*К сырью 3-го поколения* относятся быстрорастущие водоросли с максимальным содержанием масла. Эти культуры культивируют в искусственных водоемах. Перспективность этого направления развития связана со спецификой состава водорослей (в штамме водорослей содержание жиров составляет от 75 до 85% сухого веса). Установлено, что с 1 акра (4047 м2) водорослей можно произвести в 30 раз больше энергии, чем с акра наземных растений, таких как, например, соя.

Существуют определенные общие требования к сырью, используемому при производстве биотоплива, в зависимости от типа биотоплива и технологии его производства.

Важной характеристикой сырья, используемого для получения биогаза, является коэффициент, определяемый соотношением количества общего углерода к общему азоту в используемых отходах. При сдвиге этого соотношения в сторону углерода, будет наблюдаться недостаток азота, являющегося биогенным элементом, а значит и затормозится процесс метанового брожения. Если же значительное преимущество будет на стороне азота, то при естественном брожении сырья в нем может образоваться большое количество аммиака, губительного для биоценоза анаэробных бактерий. Наиболее оптимальным в этом случае является соотношение, определенное на практике опытным путем и лежащее в диапазоне от 10 до 20.

Для получения качественных топливных гранул необходимо использовать качественное оборудование, четко придерживаться технологии производства и использовать качественное сырье. По сырья, то она не должна быть старой (лежалой), так как она хуже дробленый, и топливные гранулы выходят с меньшей энергетической ценностью; не содержать остатков почвы, камней и других неорганических включений, поскольку получим, кроме ухудшения качества исходного продукта, еще и выход из строя оборудования; а также влажность сырья перед прессованием должно быть в пределах 12-14%, так как при большей влажности топливные гранулы получаются менее прочными, и остаточная влажность после охлаждения может быть выше нормы, в таких гранул меньше энергетическая ценность и, соответственно, цена.

***Лекция 5***

Технология производства биогаза и ее экологические аспекты.

Цель лекции: Ознакомить с технологиями производства биогаза и обсуждение ее экологических аспектов в контексте использования этой технологии как возобновляемого источника энергии. Лекция направлена на формирование следующих основных знаний и понимания:

1. Принципов и методов производства биогаза
2. Обсуждение экологических выгод, связанных с производством биогаза.
3. Рассмотрение устойчивости и управления рисками, связанными с технологией производства биогаза.

**Биогаз** - это смесь газов, преимущественно метана и углекислого газа, которая образуется в результате биологического разложения органических отходов. Он может быть получен из различных источников, таких как фермерские поместья, свалки, канализационные системы и другие места, где имеются органические отходы.

**Биогаз** – общее название горючей газовой смеси, получаемой при разложении органических субстанций в результате анаэробного микробиологического процесса (метанового брожения). Его основные компоненты: метан (СН4) – 55-65% и углекислый газ (СО2) – 35-45%, а также в очень малых количествах, около 1%, другие газы, например – водород (H2) и сероводород (Н2S). Средняя теплота сгорания биогаза, содержащего около 60% метана, равна 22МДж/м3. Поскольку горючая часть биогаза состоит из метана (температура воспламенения метана около 645°С), его причисляют к семейству природных газов.

В зависимости от биомассы используемой для производства биогаза можно выделить следующие его виды:

1. Газ метантенков, получаемый на городских канализационных очистных сооружениях (БГ КОС);

2. Биогаз, получаемый в биогазовых установках при сбраживании отходов сельскохозяйственных производств (БГ СХП);

3. Биогаз, получаемый на полигонах отходов, содержащих органические компоненты (БГ ТБО).

*Общая схема производства биогаза.* Вначале сырье смешивается и измельчается до получения полужидкой гомогенной массы в приемном танке. Далее масса нагревается до 70°C не менее 1 часа с целью уничтожения бактерий. После охлаждения сырье перекачивается в автоклав (биореактор (метантанк), ферментатор), где оно подвергается анаэробному брожению при температуре 38°C. Процесс получения биогаза длится обычно около 1 месяца. существуют 2 режима брожения: мезофильный – 25-38°С (оптимальная температура, при которой работают мезофильные бактерии, – 37°C) и термофильный – 45-60°C (оптимальная температура, при которой работают термофильные бактерии, – 56°С). Для интенсификации брожения добавляют катализаторы (глюкозу и целлюлозу). Рекомендуется перемешивание субстрата в ферментаторе с целью предупреждения образования в верхней части слоя всплывающего вещества и корки (это улучшает технологический процесс и соответственно снижает энергозатраты). Биогаз под собственным давлением (не более 0,5 атм) через газовый штуцер и конденсатор (для удаления влаги) подается в газгольдер, откуда используется либо для сжигания в бытовых приборах, либо для производства электрической и тепловой энергии в когенерационной энергоустановке. Полностью автономный, энергонезависимый биореактор потребляет 10–25% вырабатываемого газа для своих нужд. Это требуется для осуществления термостатирования и перемешивания. сброженная масса через штуцер удаления эвакуируется и накапливается в бункере-отстойнике. Все известные биогазовые установки сходны по своему строению. Основными элементами установки являются: реактор для биомассы (метатенк), газгольдер, нагревательное устройство, устройство для перемешивания субстрата, система загрузки сырья (биомассы).

*Использование биогаза в качестве источника энергии имеет ряд преимуществ:*

*1.* Возобновляемость: биогаз получается путем переработки органических отходов, которые находятся в избытке, поэтому это возобновляемый источник энергии. 2. Экологическая чистота: производство биогаза не вызывает выбросов парниковых газов и других вредных веществ, что снижает негативное воздействие на окружающую среду. 3. Снижение затрат: использование биогаза позволяет снизить затраты на производство энергии, так как он является дешевым и легко доступным источником. 4. Улучшение экономической ситуации в сельской местности: биогаз можно производить из органических отходов фермерских хозяйств, что может способствовать улучшению экономической ситуации в сельской местности.

5. Гибкость: биогаз может быть использован для генерации электроэнергии и тепла, а также может служить топливом для автомобилей, что делает его гибким в использовании. 6. Снижение зависимости от нефти: использование биогаза позволяет снизить зависимость от нефти и газа, что может быть особенно важным для стран, которые импортируют нефть или газ. Биогаз может быть использован в различных отраслях. Например, он может быть использован для генерации электроэнергии и тепла, а также служить топливом для автомобилей. Он также может быть использован для производства удобрений и прочих химических продуктов. В сельском хозяйстве биогаз может использоваться для подогрева жилых домов, обогрева сараев и ферм, а также для питания электрических генераторов. В городских условиях биогаз используется для работы муниципальных автопарков и общественного транспорта.

Использование биогаза как источника энергии становится все более популярным по всему миру, так как это экологически чистый, доступный и возобновляемый источник энергии, который может способствовать улучшению экономической и экологической ситуации в мире.

***Лекция 6***

Биопроцессы производства водорода с использованием микроводорослей и возможные пути повышения их продуктивности.

Цель лекции: Ознакомить с производством водорода на основе микроводорослей, а также показать пути увеличения эффективности и устойчивости этого процесса в контексте устойчивой энергетики и борьбы с изменением климата. Лекция направлена на формирование следующих основных знаний и понимания:

1. Объяснение биологических механизмов, используемых микроводорослями для выработки водорода.
2. Обсуждение инновационных методов и технологий, направленных на увеличение выхода водорода при использовании микроводорослей.

Микроводоросли могут выделять молекулярный водород в фотосинтетических реакциях, используя такие практически неистощимые и возобновляемые природные ресурсы как воду, являющейся источником электронов, и солнечный свет в качестве источника энергии.

Образование водорода зелёными водорослями сопряжено с осуществлением ими оксигенного фотосинтеза, который может быть охарактеризован двумя фазами. Первая фаза протекает на свету. Результат световой реакции – трансмембранный градиент протонов и выделение кислорода. Вторая фаза – темновая, в которой гидрогеназа катализирует образование водорода. Суть *прямого биофотолиза* заключается в том, что кислород и водород образуются одновременно, но в разных фотосистемах. Существенным недостатком данного процесса является высокая чувствительность гидрогеназ к кислороду, который через 2-3 минуты их инактивирует. Таким образом, синтез водорода водорослями возможен только в анаэробных условиях, что предъявляет требования к организации самого процесса получения. В данном случае клетки водорослей необходимо помещать в атмосферу инертного газа, например аргона, или в атмосферу молекулярного азота, также предлагают проводить процесс под частичным вакуумом. К тому же, следует непрерывно удалять выделяющийся в процессе фотосинтеза кислород.

*Непрямой биофотолиз* представляет собой совокупность двух реакций, осуществляемых цианобактериями, у которых водород выделяется за счёт наличия гидрогеназы и нитрогеназы. В этом процессе стадии выделения кислорода и водорода разделены в пространстве и во времени. На первом этапе углекислый газ в процессе фотосинтеза трансформируется в углеводы. Второй этап является сочетанием темнового брожения и фото-ферментации. При темновом брожении происходит превращение углеводов в уксусную кислоту и диоксид углерода в анаэробных условиях в темноте. Далее уксусная кислота полностью разлагается на водород и углекислый газ в анаэробных условиях фотоброжением. Нитрогеназа катализирует реакцию ассимиляции молекулярного азота из воздуха; азот восстанавливается до аммиачной формы, при этом образуется водород.

*Производство* биоводорода из микроводорослей в основном включает ферментационное производство биоводорода (например, производство биоводорода фотоферментацией, производство биоводорода темной ферментацией и производство биоводорода комбинированной ферментации в темноте) и фотосинтезное биоводородное производство (например, производство биоводорода прямого биологического фотолиза, производство биоводорода непрямого биологического фотолиза).

Самый высокий выход и продуктивность производства биоводорода - это модифицированные генно-инженерные штаммы, за которыми следует фотоферментация в темноте-H2, непрямой фотолиз-H2, ферментация в темноте-H2, фотоферментация-H2 и прямой фотолиз-H2. Более конкретно, существуют пути получения H2, зависящие от фотосинтетической системы (PSII), пути получения H2  c недостатком питательных веществ (т.е. недостаток серы, азота, фосфора и магния в среде) и анаэробный путь получения биоводорода при ферментации в темноте. Было обнаружено, что наиболее эффективным способом производства биоводорода является дефицит серы по сравнению с недостатком азота, фосфора и магния. Дефицит серы подавлял активность PSII и скорость выработки кислорода. Нормальное дыхание митохондрий потребляет кислород, что приводит к активации гидрогеназы в анаэробной среде для катализации эволюции биоводорода.

Существует также несколько *способов повышения эффективности* производства биоводорода, таких как совместное производство биоводорода микроводорослями и бактериями, добавление бисульфита натрия (NaHSO3), миксотрофное культивирование (добавление ацетата натрия в качестве источника углерода, получение углеводов для ферментации в темноте -получение H2) и иммобилизация клеток микроводорослей для улучшения использования света.

Применение *генной инженерии* увеличивает производство биоводорода из микроводорослей. Исследователи хотят модифицировать гидрогеназу путем случайной мутации или разработать новую гидрогеназу, чтобы сделать ее более устойчивой к кислороду, но, к сожалению, текущие исследования пока не показали ее эффективности в переносимости кислорода.

Таким образом, улучшение видов микроводорослей с помощью генной инженерии является первым условием для реализации крупномасштабного производства биоводорода из микроводорослей. Трудности будущих исследований по-прежнему сосредоточены на повышении активности гидрогеназы и переносимости кислорода, повышении эффективности фотосинтеза, усилении потока электронов в процессе ферментации, иммобилизации культивирования микроводорослей, а также стоимости биореактора, которые тесно связаны с реализацией эффективного производства биоводорода. Более того, ориентация на предварительную обработку возобновляемой биомассы также является жизненно важным методом обеспечения доступности ферментируемого вещества для эффективного получения биоводорода.

***Лекция 7***

Стратегии и экономическая эффективность производства водорода на основе цианобактерий.

Цель лекции: Обозначить перспективы производства водорода с использованием цианобактерий, а также оценить экономическую эффективность этой технологии в контексте перехода к устойчивой энергетике и борьбе с изменением климата. Лекция направлена на формирование следующих основных знаний и понимания:

1. Ознакомление с цианобактериями как потенциальным источником водорода.
2. Анализ преимуществ производства водорода на основе цианобактерий.
3. Рассмотрение важности водорода как потенциального хранителя энергии и его роли в устойчивой энергетической и экономической системе.

Цианобактерии образуют большую и разнообразную группу оксигенных фотоавтотрофных прокариот, многие из которых обладают способностью вырабатывать водород. Производство водорода было изучено в очень широком разнообразии видов и штаммов цианобактерий. Производство водорода происходит по меньшей мере у 14 родов цианобактерий в широком диапазоне условий культивирования. Например: *Gloeocapsa alpicola* в условиях серного голодания демонстрируют повышенное производство водорода; *Spirulina platensis* может производить водород в полностью анаэробных условиях и в темноте; *Anabaena cylindrica* производит водород и кислород одновременно в атмосфере аргона в течение 30 дней в условиях ограниченного освещения.

Цианобактерии обладают несколькими *преимуществами* как источники сырья при производстве биоводорода:

1. Процесс производства биоводорода с использованием цианобактерий обычно не выделяет парниковые газы, такие как углекислый газ (CO2). Вместо этого, он производит водород и кислород как продукты фотосинтеза и ферментативных реакций, делая его экологически чистым способом производства водорода.

2. Цианобактерии могут быть культивированы с использованием солнечного света и углекислого газа, что делает этот процесс возобновляемым. Это сокращает зависимость от ограниченных природных ресурсов.

3. Цианобактерии способны очищать загрязненные водоемы, так как они поглощают углекислый газ и удаляют питательные вещества из воды. Это может помочь в смягчении негативного воздействия антропогенной активности на водные ресурсы.

4. В отличие от некоторых других микроорганизмов, цианобактерии способны расти и размножаться довольно быстро, что может увеличить производительность процесса биоводородной продукции.

5. Некоторые виды цианобактерий способны выживать и расти в экстремальных условиях, таких как высокие температуры, соленость и низкие уровни кислорода, что позволяет использовать их в разных средах.

6. В отличие от некоторых растительных источников биоводорода, цианобактерии не требуют почвы для культивирования, что означает, что они могут быть использованы в разных местах, включая соленые воды и пустыни.

7. Цианобактерии могут быть интегрированы в существующие системы очистки сточных вод и использованы для параллельного производства биоводорода.

*Водородная энергетика* — отрасль энергетики, основанная на использовании водорода в качестве средства для зарядки, транспортировки, производства и потребления энергии. Водород выбран как наиболее распространенный элемент в космосе, теплота сгорания водорода максимальная, а продуктом сгорания в кислороде является вода (которая также вводится в оборот водородной энергетики). Водородная энергетика относится к альтернативной энергетике, когда водород производится с помощью возобновляемых источников энергии.

Успехи в развитии водородных технологий показали, что использование водорода приведет к качественно новым показателям работы агрегатов. Результаты технико-экономических исследований говорят о том, что водород, несмотря на свою вторичность в качестве энергоносителя, его применение во многих случаях экономически целесообразно. Поэтому работы в этой области во многих, особенно в промышленно развитых странах, относятся к приоритетным направлениям и находят всё большую поддержку со стороны как государственных структур, так и частного капитала. Лидируют считанное число государств, уделявших водороду серьезное внимание в течение многих лет или даже десятилетий – Япония, США, Германия, Великобритания и Южная Корея, которых постепенно догоняет Китай.

**Литература**

1. Заядан Б.К. Экологическая биотехнология. Образовательный инструмент. - Алматы. Изд.: Лит. 2013, 312 с.
2. Заядан Б.К., Маторин Д.Н. Биомониторинг водных экосистем на основе микроводорослей. Монография. - М.: Изд.: Альтекс. 2015.251с.
3. Заядан Б.К. Фототрофные микроорганизмы в экологическом мониторинге и биоремедиации загрязненных водных экосистем. Монография. - Алматы. Издательство: Арись. 2010. 380 с.
4. Заядан Б.К. Экологическая биотехнология фототрофных микроорганизмов. Монография. - Алматы. Каз. Университет. 2011. 335 с.
5. Урюмцева Т.Н. Экологическая биотехнология: Учеб. — Алматы: КиберСмит, 2019. — 216 с.

Интернет ресурсы

1. <http://elibrary.kaznu.kz/ru>
2. <https://www.researchgate.net/>
3. <https://www.biologydiscussion.com/>
4. <https://www.labiotech.eu/>