

## ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕТАНООБРАЗУЮЩЕГО КОНСОРЦИУМА ПОЛИГОНОВ ТКО

Садчиков А.В.

*ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург, e-mail: lyohantron@mail.ru*

Рассмотрены вопросы оптимизации условий жизнедеятельности метанообразующего консорциума полигонов ТКО. Показаны основные этапы процесса распада органических веществ. Рассмотрены этапы анаэробного брожения, процессы кислотообразования и метаногенеза. Описаны морфологические группы различных по структуре микроорганизмов, входящих в основу состава микробиологического метанообразующего консорциума. Показаны различные факторы роста, необходимые для нормальной жизнедеятельности метанообразующих микроорганизмов. Произведена оценка энергетического потенциала органической массы полигонов твердых коммунальных отходов. Показана возможность использования свалочного биогаза в качестве экологически безопасного энергетического ресурса. Перечислены основные виды известных на сегодняшний день метаногенов. Рассмотрены условия жизнедеятельности консорциума метанообразующих микроорганизмов. Отмечены наиболее универсальные источники углерода и энергии, необходимые для нормальной жизнедеятельности метаногенов. Выделены наиболее значимые факторы, оказывающие влияние на интенсивность газовыделения. Предложен метод оптимизации условий жизнедеятельности метаногенов с использованием препаратов на основе метанового эффлюента.

Ключевые слова: полигоны ТКО, свалочный биогаз, метаногены, консорциум метанообразующих микроорганизмов.

## CREATE OPTIMAL LIVING CONDITIONS FOR METHANE-MICROBIAL CONSORTIUM OF MSW LANDFILLS

Sadchikov A.V.

*FGBOU VO "Orenburg State University", Orenburg, e-mail: lyohantron@mail.ru*

The problems of optimization of living conditions of methane-a consortium of MSW landfills. The basic steps in the process of decomposition of organic substances. The stages of anaerobic fermentation, acid production and methanogenesis processes. Morphological Group structure different microorganisms belonging to the base composition of methane-microbial consortium. Showing a variety of growth factors necessary for normal functioning of methane-organisms. An assessment of the energy potential of the organic mass of solid municipal waste. The possibility of using landfill gas as an environmentally friendly energy source. The main types of currently known methanogens. Considered living conditions consortium methane-organisms. It noted the most versatile sources of carbon and energy needed for normal vital activity of methanogens. We select the most significant factors affecting the intensity of the gassing. A method for optimizing methanogens living conditions with the use of drugs based on methane effluent.

Keywords: MSW landfills, landfill biogas, methanogens, methane-microbial consortium.

Проблема обеспечения жизнедеятельности экологически чистыми энергоресурсами в наши дни является приоритетным научным направлением во всех сферах прикладных и фундаментальных наук. Поиск различных способов решения указанных проблем производится при непосредственном участии государства. Россия обладает огромными запасами природных ресурсов, однако прогнозы исчерпания углеводородов в ближайшие десятилетия создают предпосылки для необходимости поиска альтернативных источников энергии. При этом приоритетными критериями в плане решения этой задачи выступают такие показатели, как экологичность, надежность и доступность. Повышение эффективности

использования возобновляемых энергоресурсов в настоящее время является актуальной задачей обеспечения энергетической независимости государства. Перспективным источником энергии являются в настоящее время полигоны ТКО, для эффективного использования их энергетического потенциала в настоящей работе предложены методы оптимизации условий метанообразующего консорциума в теле полигона с использованием препаратов на основе метанового эффлюента.

### **Актуальность проблемы**

В настоящее время особое внимание в указанной сфере уделяется возможностям использования энергетического потенциала отходов, образующихся в процессе хозяйственной деятельности. В качестве перспективных источников энергии следует отметить растительные отходы, твердые коммунальные (бытовые) отходы, промышленные отходы, отходы сельскохозяйственного производства. Эффективное и разумное использование энергетического потенциала большей части массы ежегодно образующихся отходов позволит обеспечить население дешевой энергией, решить ряд экологических проблем, возникающих в процессе утилизации отходов, а также повысить надежность в сфере обеспечения продовольственной безопасности на государственном уровне. Приоритетной задачей научных исследований в этой области в настоящее время является разработка современных технологий использования энергетического потенциала биомассы, позволяющих эффективно решать энергетические задачи без привлечения ресурсов посевных площадей и лесных угодий [1].

### **Полигоны ТКО**

Полигоны по захоронению твердых коммунальных отходов (ТКО) представлены двумя основными видами – курганного (насыпные) и котлованного типа (на базе отработанных карьеров). В течение длительного времени они непрерывно заполняются твердыми бытовыми отходами и представляют собой биотермические реакторы, в которых в результате анаэробных процессов дигерирования образуется метаносодержащий газ – так называемый «свалочный» биогаз (с содержанием метана 35–65 %). В настоящее время широкое распространение получили методы высокотемпературного и пиролитического сжигания твердых отходов с последующим захоронением образующейся золы на специальном полигоне. При этом продукты сгорания содержат опасные соединения диоксинов и фуранов. Для их устранения необходимы дополнительные энергозатраты на нагрев образующихся газов до температуры свыше 850 °С. В настоящее время известно большое количество разнообразных по принципу действия технологий сжигания твердых отходов – камерные, слоевые технологии, технологии с циркулирующим кипящим слоем, в смеси с природным топливом и пр. Наибольшую опасность с экологической точки зрения

представляет низкотемпературное сжигание в котлах [2].

Опыт показывает, что массовое содержание органических веществ в одной тонне ТКО составляет от 150 до 250 кг, при разложении которых выделяется до 1,5–2,5 м<sup>3</sup> в год биогаза в течение 15–20 лет [3].

### **Получение энергии из биомассы**

В настоящее время способы получения энергии из биомассы активно разрабатываются во всех странах мира. Наибольший интерес представляет биогаз, образующийся в результате разложения органических соединений животного и растительного происхождения в анаэробных условиях. Наиболее ценным макрокомпонентом биогаза является метан, выделяющийся в процессе жизнедеятельности метанообразующих бактерий.

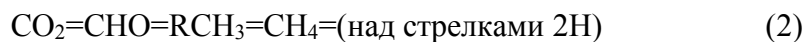
Распад органических веществ в упрощенной схеме можно представить тремя основными фазами:

- фаза гидролиза (растворение и гидролиз органических соединений);
- фаза кислотообразования (ацидогенез);
- фаза метановыделения (метаногенез).

На первом этапе происходит расщепление сложных органических веществ на летучие жирные кислоты (ЛЖК), масляную (C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>COOH), пропионовую (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>COOH) и молочную кислоты (CH<sub>3</sub>CH(OH)COOH). На втором этапе из них образуются низкокарбоновые, или короткоцепочечные кислоты, включая уксусную кислоту (CH<sub>3</sub>COOH), а также выделяется водород и углекислый газ. На третьем этапе метанообразующие бактерии восстанавливают CO<sub>2</sub> в CH<sub>4</sub> с поглощением H<sub>2</sub>. Известно свыше 50 видов микроорганизмов, способных осуществлять стадию ацидогенеза. Самые многочисленные среди них – представители бацилл и псевдомонад. Метаногены представлены большим разнообразием: кокки, сарцины и палочки. Этапы анаэробного брожения происходят одновременно, стадии кислотообразования и метаногенеза протекают параллельно. Уксуснокислые и метанообразующие микроорганизмы образуют симбиоз, считавшийся ранее одним микроорганизмом под названием *Methanobacillusomelianskii*. Реакция восстановления CO<sub>2</sub> в CH<sub>4</sub> с поглощением H<sub>2</sub> может быть представлена уравнением:



Для метаногенов характерно карбонатное дыхание:



### **Метанообразующий консорциум полигонов ТКО**

Метанообразующие бактерии (метаногены) – морфологически разнообразная группа,

объединяемая двумя общими для всех ее представителей признаками: облигатным анаэробизмом и способностью образовывать метан. В состав группы входят бактерии с разной морфологией: прямые или изогнутые палочки разной длины; клетки неправильной формы, близкие к коккам; извитые формы. У некоторых видов наблюдается тенденция формировать нити или пакеты. Клетки неподвижные или передвигающиеся с помощью перитрихально или полярно расположенных жгутиков. У представителей рода *Methanosarcina* в клетках найдены газовые вакуоли. Для некоторых метаногенов характерна развитая система внутриклеточных элементарных мембран, являющихся результатом разрастания и впячивания в цитоплазму ЦПМ и сохраняющих с ней связь. У этой группы археобактерий обнаружены клеточные стенки трех типов: состоящие из псевдомуреина, построенные из белковых глобул и гетерополисахаридной природы. Описан микоплазмоподобный метаноген, выделенный в род *Methanoplasma*, не имеющий клеточной стенки и фильтрующийся через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм [4].

#### **Условия жизнедеятельности метаногенов**

Для того чтобы рост и жизнедеятельность микроорганизмов были возможны, в среде их обитания должны присутствовать питательные материалы для построения различных компонентов клетки и доступные источники энергии. Все организмы нуждаются в достаточном количестве воды, С,О,Н,Н,Р,К,Na. Им требуются микроколичества некоторых металлов: Fe,Mn,Zn,Cu. Для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов необходимы также различные факторы роста, такие, как витамины (группы В, никотиновая кислота), пуриновые и пиримидиновые основания. Источниками С, N,Н могут быть различные органические соединения (глюкоза, аминокислоты, молочная кислота), а также неорганические вещества.

Рост некоторых видов полностью подавляется при содержании в газовой фазе более 0,004 % молекулярного кислорода. Однако описаны виды с относительно низкой чувствительностью к O<sub>2</sub>. В их клетках найдена супероксиддисмутаза. Возможно, в природе такие виды могут сохранять жизнеспособность при кратковременных контактах с O<sub>2</sub> и возобновлять рост в анаэробных условиях.

Большинство метаногенов являются мезофилами. Оптимальный температурный диапазон для их активного роста лежит в пределах 30÷40 °С. В то же время существуют разновидности, для которых зона температурного оптимума сдвинута в сторону более низких или высоких температур (до 25 °С для психрофильных микроорганизмов и 55÷65 °С для термофильных). Среди метаногенов существуют экстремально термофильные микроорганизмы, например штамм *Methanothermobacter*, развивающийся при температурах 55÷97 °С (оптимальное значение температуры около 80 °С). Как правило, все

известные в настоящее время метанообразующие микроорганизмы развиваются в нейтральных средах с оптимальным значением водородного показателя в пределах 6,5÷7,5. Среди них встречаются галофильные штаммы, для которых необходимым условием роста является наличие в питательной среде растворенных солей NaCl концентрацией до 65÷70 г/л [5].

Основным источником энергии для метаногенов является смесь водорода и углекислого газа. Свыше 75 % известных в настоящее время метаногенов используют смесь водорода и углекислого газа в качестве источника углерода и энергии. Некоторые штаммы способны к облигатному использованию  $H_2$  и  $CO_2$ . Кроме указанных газов, основой питания метаногенов являются также соли и эфиры муравьиной и уксусной кислоты, метиловый спирт, метиламины и угарный газ.

Практически 50 % известных штаммов метаногенов не используют органику. Однако для стимуляции роста большинства из них требуется добавление определенных органических веществ, например витаминов группы B, солей и эфиров летучих жирных кислот, пировиноградных кислот, янтарнокислых солей, некоторых видов аминокислот, дрожжей и других компонентов, содержащихся в естественных условиях их обитания.

Следует отметить склонность некоторых метаногенов к азотфиксации. Чаще всего аммонийный азот, пептиды и азотсодержащие аминокислоты являются основой азотного питания. Соли серной кислоты, серосодержащие аминокислоты и некоторые сульфиды используются метаногенами в процессе производства сероводорода.

Важным фактором, влияющим на жизнедеятельность метаногенов, является отсутствие кислорода. Как правило, большинство метанообразующих микроорганизмов встречается в болотах и на свалках, т.е. в таких условиях, где ограничен доступ кислорода и содержится органика. Метаногены являются основой анаэробного дигерирования органики. Практика показывает, что в теле полигонов твердых коммунальных отходов содержится весь комплекс необходимых микроорганизмов, поэтому для эффективной переработки отходов достаточно поддерживать оптимальные условия для жизнедеятельности метанообразующего консорциума микроорганизмов.

Под действием ферментов и коферментов, вырабатываемых метанообразующими бактериями, завершается цикл брожения, в результате чего образуется метан и углекислый газ, входящие в состав биогаза. Метанообразующие бактерии относятся к разряду архебактерий. Они имеют особый аппарат синтеза белка и состав клеточных стенок, что позволяет им получать энергию и усваивать углекислоту. Размножаются метаногены очень медленно и проявляют повышенную чувствительность к изменениям окружающей среды.

#### **Факторы, влияющие на интенсивность метаноотдачи**

Интенсивность газовой выделения будет во многом зависеть от условий, созданных для жизнедеятельности метанобразующих бактерий. Низкая кислотность среды подавляет рост метаногенов, тем самым уменьшая полезный выход биогаза. Количество метана, содержащегося в биогазе, зависит от состава перерабатываемых органических веществ. Если в их составе содержатся жиры и протеины, то в результате получится биогаз с высоким содержанием метана. Но если биомасса состоит из растительных компонентов с большим содержанием углеводов, то содержание метана будет невысоким.

Поскольку они не способны выделять тепло, но существовать могут лишь в тепле, для повышения эффективности их работы требуется подогрев. В зависимости от необходимой для их жизнедеятельности температуры метаногены бывают психрофильными, могут жить при температуре от +5 °С до +20 °С, мезофильными, живут при температуре от +30 °С до +42 °С, и термофильными, которые живут при температуре от +54 °С до +56 °С. Метаногенные бактерии не выносят резких перепадов температуры.

Таким образом, можно выделить следующие основные факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на интенсивность газовой выделения:

- температурный режим;
- значение водородного показателя среды;
- режим аэрации;
- морфологический состав субстратов.

Следует отметить также необходимость наличия начального контаминатора метанобразующей микрофлоры, источник которого не всегда присутствует в свободном доступе. Особенно это актуально для таких полигонов твердых коммунальных отходов и городских свалок, на которых не предусмотрена система сбора и возврата фильтрата. Поскольку в современных условиях большая часть (свыше 90 %) полигонов твердых коммунальных отходов и городских свалок в Российской Федерации не оборудованы системой сбора фильтрата и орошения тела полигона, ведущую роль в создании эффективных систем использования энергии биомассы полигонов ТКО приобретает задача заселения активной микрофлоры, участвующей в процессах метановыделения.

### **Способы микробиологического воздействия**

В некоторых случаях в роли активного микробного контаминатора используются специальные микробиологические препараты. Экономическая эффективность использования подобных средств в целях оздоровления микрофлоры тела полигонов остается под большим вопросом. Большая часть таких микробиологических препаратов изготавливается в виде порошков и суспензий, которые необходимо доводить до требуемой влажности при внесении. При этом значительно снижается активность вносимой микрофлоры, и зачастую

эффект от такого внесения падает до нулевого. Кроме того, состав препарата включает, как правило, выборочную группу искусственно выращенных штаммов, адаптация которых в условиях полигона сильно зависит от состава субстратов и плотности укладки слоев. Климатические и природно-географические условия также оказывают значительное влияние на активность подобных препаратов. Сроки внесения ограничиваются для них, как правило, теплым временем года.

### **Использование препаратов на основе метанового эффлюента**

Указанных недостатков лишены микробиологические препараты, полученные на основе метанового эффлюента биогазовых станций, использующих в качестве загрузки комбинированное сырье. Использование метанового эффлюента для активации микрофлоры полигонов ТКО и городских свалок позволит значительно повысить объемную долю метана в газовыделениях, снизить долю балластных компонентов, увеличить интенсивность процессов метаноотдачи [6]. Внесение препаратов на основе метанового эффлюента не требует специальных трудоемких и дорогостоящих операций. Активность метанообразующего консорциума в препаратах на основе метанового эффлюента сохраняется длительное время (свыше шести месяцев), при соблюдении оптимального температурного режима (от +5 °С до +20 °С) [7]. Внесение указанных препаратов не ограничивается временем года, стоимость препаратов на основе метанового эффлюента в десятки раз ниже стоимости аналогов, получаемых искусственным путем. Кроме того, активность вносимого консорциума практически не зависит от состава субстратов и плотности слоев тела полигона.

### **Заключение**

На основании проведенных лабораторных исследований, в результате проведенных экспериментов и производственных испытаний получен двухкомпонентный микробиологический препарат "МИКС+ТКО" на основе метанового эффлюента биогазовой станции, использующей комбинированное загрузочное сырье (ТУ 929172-003-69393208-2016). Производство такого препарата предполагает наличие естественной для микроорганизмов питательной среды, насыщенной необходимыми микроэлементами, благодаря чему сохраняется высокая метаболическая активность в течение длительного срока. Кроме того, низкая себестоимость препарата обусловлена тем, что основным направлением деятельности предприятий, эксплуатирующих биогазовые установки, является оказание услуг в области рециклинга отходов [2].

Таким образом, в сложившейся на сегодняшний день ситуации наиболее выгодным с экономической и технологической точки зрения мероприятием по созданию оптимальных условий жизнедеятельности метанообразующего консорциума полигонов ТКО является

применение микробиологических препаратов на основе метанового эффлюента биогазовых станций, работающих на комбинированном загрузочном сырье.

### Список литературы

1. Соуфер С., Заборски О. Биомасса как источник энергии. – М.: Мир, 1985. – 368 с.
2. Садчиков А.В., Кокарев Н.Ф. Биогазовые станции как экологически безопасное средство для повышения биопродукционной способности естественных и культурных ландшафтов // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 4. – С. 173–177.
3. Садчиков А.В., Кокарев Н.Ф., Соколов В.Ю., Наумов С.А. Обеспечение энергетической независимости и экологической безопасности полигонов ТКО // Альтернативная энергетика и экология. – 2016. – № 15–18 (203–206). – С. 104–111.
4. Микроорганизмы: Электронный источник. Режим доступа: <http://www.fegi.ru/primorye/geology/coal/m-ogran.htm>.
5. Тимаков В.Д., Левашев В.С., Борисов Л.Б. Микробиология. – М.: Медицина, 1983. – 517 с.
6. Садчиков А.В., Кокарев Н.Ф., Никоноров И.Н., Идигенов А.Б. Способ повышения эффективности полигонов твердых бытовых отходов (тбо) // Пат. 2555143 РФ. Опубликовано 10.07.2015. Бюл. № 19.
7. Hanson J.L., Yesiller N., Oettle N.K. Spatial and temporal temperature distributions in municipal solid waste landfills. *Journal of Environmental Engineering*; 2010: 804-14.