

Утилизация техногенных ресурсов с использованием микробной биоконверсии

И.А. Занина, М.Д. Молев, Е.И. Костромина, О.В. Рожкова

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Статья посвящена актуальной проблеме переработки отходов производства на стадиях строительства, эксплуатации и ликвидации угольных шахт России. В работе обоснованы технологии переработки отходов, в том числе для получения энергоресурсов на основе моделирования. Показана возможность реализации инновационной методики переработки углеотходов с использованием биоценоза. Достаточно подробно изложены вопросы трансформации техногенных отходов в энергоресурсы путем анаэробной биоконверсии. В рамках изложения предлагаемой методики представлены результаты натуральных экспериментов и программа практических действий переработки материалов на стадии промышленной эксплуатации. В частности обоснована оптимизация технологии переработки на основе выбора наиболее активного биоценоза микроорганизмов.

Ключевые слова: переработка, утилизация, техногенные ресурсы, углеотходы, биотехнология, биотрансформация, биоценоз.

Строительство, эксплуатация и ликвидация угольных шахт связаны с необходимостью хранения и переработки углесодержащих отходов, что требует существенных затрат и приводит к долговременному отрицательному влиянию на экологию угледобывающих регионов [1]. Одним из перспективных направлений переработки углематериалов является использование биотехнологических процессов.

Говоря о всевозрастающем биотехнологическом потенциале консорциумов микроорганизмов в различных отраслях экономики, Г.А. Заварзин отмечал: «Самые осторожные оценки приводят к выводу, что производства, основанные на применении микробных сообществ, в десятки раз превосходят по экономической значимости производства, основанные на чистых культурах» [2].

Авторами статьи были изучены и опубликованы результаты исследований о возможности использования микроорганизмов для утилизации углеотходов [3]. В данной работе приводятся исследования, направленные на формирование консорциума микроорганизмов для

биотрансформации углеотходов в целевые продукты (биогаз и органоминеральные удобрения).

В процессе угледобычи происходит спонтанное развитие других форм микрофлоры, приводящее к некоторому химическому и структурному преобразованию [4,5]. Интенсификация таких процессов с целью биотрансформации угля возможна путем развития активных по отношению к углю форм микрофлоры. Анаэробный метаногенный консорциум смешанных культур микроорганизмов наиболее приемлем для деструкции органического вещества угля.

В ходе изучения процесса биоконверсии был обоснован выбор биоценозов и смешанных анаэробных метаногенных ассоциаций, которые наиболее эффективно осуществляют биотрансформацию углеотходов в биогаз. Таковыми явились культуры: *Clostridium theroformicium* + *Methanobacterium thermoformicium*; *Ps.aeruginosa* + *B.megaterium* + *M. Omelianskii* + *Ms. Methanica*, а также анаэробный консорциум. При утилизации антрацита путем использования данных культур и анаэробного консорциума метантенка максимальная концентрация метана достигала 25%. Предварительная аэробная трансформация угля культурой гриба *Asp.niger* с дальнейшей метанизацией вышеуказанной группой культур позволила поднять выход метана до 65% при биоконверсии бурого угля и до 30% при утилизации антрацита, производительность по метану при этом составила 0,337 м³ /т сут; для антрацита – 0,586 м³/т сут. Степень конверсии органической составляющей углеотходов варьирует в пределах 3,27-10.22% (при биоутилизации антрацита) и 4,89-12,2% (в случае бурого угля) [6].

Как известно, анаэробная биоконверсия сложных органических субстратов протекает в три стадии: гидролиза, ацидогенеза и метанообразования. За каждую стадию ответственна определенная группа микроорганизмов. Первая группа включает гидролитические бактерии,

которые обеспечивают первоначальный гидролиз сложных субстратов до низкомолекулярных органических соединений. Вторая группа представлена ацидогенными бактериями (*Clostridium*, *Pseudomonas*, *Bacillus*), продуцирующими уксусную кислоту и водород [7,8].

Собственно стадия метангенерации осуществляется семейством *Methanobacteriaceae*. При недостаточной активности метаногенов-хемолитотрофов и при избытке органического субстрата возрастает число ионов водорода, что ингибирует деятельность ацидогенов. Целесообразность разделения стадий процесса для членов анаэробного сообщества микроорганизмов подтвердилась в опытах [5]. После фильтрации через предварительно обработанный раствором NaOH антрацит вновь возвращался в первый сосуд. Концентрация метана достигала 35,25%, культивирование происходило 20 суток.

Изучение воздействия химических реагентов на угольный субстрат [9], дало положительные результаты в случае обработки растворами NaOH и температурного гидролиза в растворе KOH. Наилучшие результаты были достигнуты при использовании 5% раствора NaOH (таблица 1).

Таблица 1

Результаты микробной трансформации угля (антрацита)

Субстрат	Конечная величина pH	Концентрация метана	Объем метана, см ³
Уголь + 1% HNO ₃	7,2	3,28	0,098
Уголь + 5% HNO ₃	7,15	2,21	0,06
Уголь + 1% NaOH	7,7	3,93	0,09
Уголь + 5% NaOH	7,92	35,25	3,525
Уголь + 1% KOH	7,6	2,5	0,095
Уголь + 5%	7,63	2,13	0,074
Уголь + 20 мл питательной среды	-	0,81	0,029
Антрацит без обработки	7,2	3,03	0,114

С переходом от малых объемов к промышленным скорость и интенсивность биохимических реакций может претерпевать значительные изменения. Поэтому были проведены натурные эксперименты для создания технологий переработки угольных отходов с использованием принципов моделирования и методики системного анализа [10–12]. Исследования проводились с двумя группами культур *Ps.aeruginosa* + *V.megaterium* + *M. Omelianskii* + *Ms. Methanica* и метаногенного консорциума метантенка.

Эксперимент осуществлялся с применением приема разделения стадий и без него. Раздельному культивированию подвергались члены метаногенной ассоциации: *Ps.aeruginosa* + *V.megaterium* + *M. Omelianskii* + *Ms. Methanica*.

Натурные исследования проводились в реакторе объемом 3 м^3 , при разделении стадий объем первого реактора составил 2 м^3 , второго 3 м^3 . В первом случае утилизации подвергалось 675 кг антрацитового штыба, во втором - 320 кг. В технологическом цикле промышленной биопереработки использовался инокулят с содержанием сырой биомассы 0,04 г/л. Исходная водоугольная смесь формируется из следующих компонентов: твердая фаза (уголь определенной фракции) до 40%, жидкая фаза – 60%, из них инокулят адаптированных микроорганизмов в виде водоугольной суспензии до 30%, остальное вода и корректирующие добавки минеральных соединений.

При разделении стадий процесса основные технологические параметры следующие: отношение Т:Ж – 1:6,5, начальная концентрация микроорганизмов 0,015 г/л, при этом средняя концентрация метана составила 20%, производительность по метану $0,204 \text{ м}^3/\text{т}$ сут. При проведении без раздельного культивирования кислотообразующей и метаногенной микрофлоры средняя концентрация метана достигала 12% при использовании группы культур *Ps.aeruginosa* + *V.megaterium* + *M. Omelianskii* + *Ms. Methanica* и 17%, когда биогазификация осуществлялась

консорциумом метантенка, производительность по метану составила соответственно 0,138 м³/т сут и 0,155 м³/т сут.

Таким образом, в результате выполненных исследований были подтверждены следующие теоретические разработки: моделирование процесса биоконверсии отходов с разделением стадий и оптимизация технологии переработки на основе выбора наиболее активного биоценоза микроорганизмов.

Литература

1. Голик В.И., Масленников С.А., Прокопов А.Ю., Базавова О.В. Обеспечение экологической безопасности техногенных отходов // Научное обозрение. 2014. №9. С. 726-729.

2. Заварзин Г.А. Перспективы использования в промышленности анаэробных микроорганизмов // Биотехнология. 1985. №2. С. 122-127.

3. Занина И.А., Похлебин А.В. Биоконверсия углей высокой стадии метаморфизма // Глобальные и локальные экологические проблемы угледобывающей промышленности: Сборник научных статей. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Новочеркасск, 2001. С. 66-69.

4. Голик В.И., Комащенко В.И., Масленников С.А., Страданченко С.Г. Повышение полноты использования недр путем глубокой утилизации отходов обогащения угля // Горный журнал. 2012. №9. С. 91-95.

5. Golik V.I. Experimental Study Of Non-Waste Recycling Tailings Ferruginous Quartzite /V.I. Golik, S.G. Stradanchenko, S.A. Maslennikov // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Volume 10, № 15. pp. 35410-35416.

6. Занина И.А. Биоутилизация углеотходов в энергоносители путем микробной конверсии // Экологические проблемы биодеградаци

промышленных, строительных материалов и отходов производств: Сборник научных статей. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. Пенза, 2001 С. 124-126.

7. Buivid G., D. Wise D., Roder A. Feasibility of peat biogasification process // Energy recovery from lignin, peat and lower rank coal. 1989. V. 12. pp. 1-22.

8. Ackerson M., Jonson N. Biosolubilization and liquid fuel production from coal /M. Ackerson, N. Jonson// Appl. Biochem And Biotechnol. 1990. V. 24-25. pp. 913-928.

9. Molev M.D., Stradanchenko S.G. and Maslennikov S.A. Theoretical and experimental substantiation of construction regional security monitoring systems technospheric // ARPN Journal of Engineer and Applied Sciences. 2015. V. 10, N. 16. pp. 6787 – 6792.

10. Кузнецов К.К. Имитационное моделирование взаимосвязи инициаторов высокотехнологичных инноваций // Инженерный вестник Дона, 2009, №1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2009/250/.

11. Hecker, R.L., Liang S.Y. Predictive modeling of surface roughness in grinding // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2003. V. 43, Iss. 8. pp. 755-761.

12. Молев М.Д., Занина И.А., Стуженко Н.И. Синтез прогнозной информации в практике оценки эколого-экономического развития региона //Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2013/1993/.

References

1. Golik V.I., Maslennikov S.A., Prokopov A.Yu., Bazavova O.V. Nauchnoe obozrenie. 2014. №9. pp. 726-729.

2. Zavarzin G.A. Biotekhnologiya. 1985. №2. pp. 122-127.



3. Zanina I.A., Pokhlebin A.V. Biokonversiya ugley vysokoy stadii metamorfizma. Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Novocherkassk, 2001. pp. 66-69.
4. Golik V.I., Komashchenko V.I., Maslennikov S.A., Stradanchenko S.G. Gornyy zhurnal. 2012. №9. pp. 91-95.
5. Golik V.I., Stradanchenko S.G., Maslennikov S.A. International Journal of Applied Engineering Research. 2015. V. 10, № 15. pp. 35410-35416.
6. Zanina I.A. Ekologicheskie problemy biodegradatsii promyshlennykh, stroitel'nykh materialov i otkhodov proizvodstv: Sbornik nauchnykh statey. Materialy III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Penza, 2001. pp. 124-126.
7. Buivid G., D. Wise D., Roder A. Energy recovery from lignin, peat and lower rank coal. 1989. V. 12. pp. 1-22.
8. Ackerson M., Jonson N. Appl. Biochem And Biotechnol. 1990. V. 24-25. pp. 913-928.
9. Molev M.D., Stradanchenko S.G. and Maslennikov S.A. ARPN Journal of Engineer and Applied Sciences. 2015. V. 10, N. 16. p. p. 6787 - 6792.
10. Kuznetsov K.K. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2009, №1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2009/250/.
11. Hecker, R.L., Liang S.Y. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2003. V. 43, Iss. 8. pp. 755-761.
12. Molev M.D., Zanina I.A., Stuzhenko N.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/.