

Михеев А.А., Михеева А.В.  
Буковинский государственный медицинский университет,  
г. Черновцы, Украина

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ И ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОТОПЛИВА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ, ЧАСТЬ I)

*Аннотация.* Обзор литературы посвящен современному состоянию вопроса использования различных микроорганизмов в производстве и для производства альтернативных видов топлива. Проведен анализ литературных источников, в которых рассматриваются вопросы получения возобновляемых видов топлива (биодизель, биометан, биоэтанол) с использованием микроорганизмов или непосредственно из самих микроорганизмов.

*Ключевые слова:* биотопливо, микроорганизмы, альтернативные виды топлива.

Современный энергетический кризис – одна из главных проблем современного мира. Кроме этого, энергетический кризис порождает другой кризис современности – экологический, что происходит за счет интенсивного использования невозобновляемых энергоресурсов (нефть, газ, уголь, ядерное топливо) и поступлением в окружающую среду огромного количества продуктов их переработки и использования. В этой ситуации наиболее целесообразным направлением развития науки и техники являются поиск различных альтернативных источников энергии, особенно возобновляемых [1, 2, 3]. Одними из таких направлений является биоиндустрия и биоэнергетика, которые охватывают производство энергоносителей биологического происхождения или «биотоплива».

Биоиндустрия – это одна из категорий индустрии в целом позиционирующаяся на производстве биологических источников энергии и микробиологической промышленности [4]. Биоэнергетика – это использования энергии биомассы (органики разного происхождения), так называемого «зеленого топлива» или «биотоплива» [5, 6]. В качестве «зеленого топлива» чаще всего понимают жидкое «биотопливо» (биодизель, биоэтанол и биометанол), а также твердое и газообразное – биогаз, синтез-газ, пиролизные жидкости, отходы сельскохозяйственной и бытовой продукции, остатки переработки древесины, солома и т.п. [8, 9, 10, 11]. Различные растения и продукты их переработки в ближайшем будущем могут составить существенную конкуренцию газу и нефти [12]. К ним относятся как пищевые растения (пшеница, соя, подсолнечник, кукуруза и сахарный тростник), так и непищевые (ива, тополь, многолетние травы, рапс, лен, водоросли и

т.п.) [13], а также опавшая листва деревьев [14]. Кроме того, к возможным источникам получения «биотоплива» можно отнести придонный ил, состоящий из большого количества органики и содержащий различные виды микроорганизмов (бентос) [15, 16]. Одним из перспективных направлений получения «биотоплива» рассматривается и его получения из возобновляемого естественного сырья – масла и жиры животного происхождения [17]. На сегодняшний день «биотопливо» рассматривается как основная альтернатива традиционным видам горючего за счет основной его преимущества – возобновляемости, а также экологической безопасности, отсутствия токсических отходов, экономичности и т.п.

Преобразование биомассы в энергоносители может происходить разными способами – физическим, химическим и биологическим [18, 19, 20, 21]. Последний, базирующийся на переработке биомассы микроорганизмами как из естественных источников, так и рекомбинантными или генетически модифицированными, является одним из наиболее перспективных и экономически выгодных процессов [22, 23, 24].

Так, одним из возможных предложенных учеными процессов получения «биотоплива» является получение биоэтанола [25, 26]. Биоэтанол, как один из компонентов биотоплива, может быть получен микроорганизмами непосредственно из древесины или ее отходов [27, 28]. Эти микроорганизмы живут в кишечнике морских моллюсков и способны разлагать биомассу целлюлозы или лигноцеллюлозы до этанола в процессе брожения [29]. Для производства биоэтанола с помощью рекомбинантных микроорганизмов – грибов *Trichoderma reesei* возможно использование также отходов переработки сахарного тростника, сахарной свеклы, цветков гибискуса, кукурузы, бумажной промышленности, и даже производства алкогольных напитков [30, 31].

Одним из «побочных» продуктов микробной переработки биомассы может быть также водород, заслуживающий особого внимания как альтернативный источник энергии, в частности, для потребностей автотранспорта. Так, например, некоторые виды пурпурных бактерий (*Rubrivivax gelatinosus*), живущие в озерном иле, способны превращать воду и монооксид углерода в газообразный водород [32, 33]. Разработан прототип реактора, работающий на этих бактериях и способный производить водород в количестве, необходимом для работы небольшого двигателя, а нехватки в исходном материале для его продукции практически нет [34].

Чистый водород, как один из побочных продуктов при получении биотоплива, может производиться некоторыми бактериями непосредственно также из воды и солнечного света. Например, отдельные виды цианобактерий используют солнечную энергию для того, чтобы разрушать ковалентные связи в молекулах воды с образованием газообразного водорода и кислорода [35, 36]. Однако фермент, который принимает участие в этом процессе, чувствителен к кислороду, а это делает процесс получения водорода практически невозможным. Для решения этой проблемы ученые стараются путем генетической модификации встроить ферменты в клетки цианобактерий, которые не чувствительны к чистому

кислороду, что может быть перспективным для получения водорода даже в промышленных масштабах.

Учеными разработано также эффективный способ получения дизельного топлива из сахара, крахмала, древесной пульпы, что в будущем позволит существенно сократить потребление нефти и перейти на возобновляемые источники энергии [37]. Это было достигнуто благодаря тому, что бактерии *Clostridium acetobutylicum* в процессе расщепления сахаров образуют смесь из ацетона, бутанола и этанола, которые до этого можно было получить лишь путем перегонки нефти [38]. Модифицированные штаммы этих микроорганизмов способны производить гораздо больше конечного продукта, чем их «дикие» сородичи. Пока-что такой метод получения этих соединений, как перспектива производства биотоплива довольно дорог, однако есть перспективы снижения стоимости путем генетических модификаций штаммов-продуцентов.

Таким образом, в современных условиях энергетического и экологического кризиса, сложной экономической ситуации в целом, перспективными направлениями являются поиски новых видов воспроизводимых энергоносителей, замена ими традиционных видов энергоресурсов (нефть, газ, ядерное топливо, уголь) и возможность использования микробной биодеградаци биомассы естественного происхождения (водоросли, дерево), органических отходов промышленности (масла, жиры, органика) для получения биотоплива.

#### Литература:

1. Осьмак О.О., Серьогин О.О. Альтернативные виды топлива – перспективное направление развития энергетического комплекса Украины // Научные работы НУХТ. – 2013, № 53. – С. 132-139.
2. Скорук О.П., Здор И.А. Развитие рынка биотоплива в Украине и мире: состояние и перспективы // Сборник научных работ ВНАУ. – 2012, №1(56). – С.30-36.
3. Peralta-Yahya P.P., Ouellet M., Chan R. et al. Identification and microbial production of a terpene-based advanced biofuel // Nature Communications. – 2011, Vol.2. – P. 1-8.
4. Коваленко О.В. Биоиндустрия как инновационное направление обновления АПВ: теоретические аспекты и тенденции развития в Украине // Агроинком. – 2013, №4-6. – С. 33-37.
5. Роик М.В., Курило В.Л., Гументик М.Я. и др. Перспективы развития биоэнергетики в Украине // Сахарная свекла. – 2012, №2-3. – С. 6-8.
6. Fidalgo A.R.F.R.M. Microbial contribution to biofuels production. – Janeiro de, 2014. – 147 p.
7. Золотарева О.К., Шнюкова Е.И. Куда движется биотопливная индустрия? // Вестник НАН Украины. – 2010, №4. – С. 10-20.

8. Гончарук Т.В. Развитие и эффективность производства сельскохозяйственной продукции – сырья для переработки в биотопливо // Экономика АПК. – 2013, №8. – С. 128-133.
9. Кучкина А.Ю., Сущик Н.Н. Источники сырья, методы и перспективы получения биодизельного топлива // Journal of Siberian Federal University. – 2014, Vol.7. – P.14-42.
10. Huang G-H., Chen F., Wei D. et al. Biodiesel production by microalgal biotechnology // Applied Energy. – 2010, Vol. 87, Is. 1. – P.38-46.
11. Xu J., Du W., Zhao X. et al. Microbial oil production from various carbon sources and its use for biodiesel preparation // Biofuels, Bioproducts and Biorefining. – 2013, Vol. 7, Is. 1. – P. 65-77.
12. Гойсюк Л.В. Экономическая эффективность производства сырья для переработки на биотопливо // Экономика АПК. – 2010, №6. – С. 46-49.
13. Ястремская Л. С. Биотехнологические аспекты трансформации сельскохозяйственных отходов в энергоносители // Вестник Полтавской государственной аграрной академии. – 2011, №4. – С. 44-46.
14. Елизаров А.И., Лысенко О.И. Получение биогаза из опавших листьев // Вестник КрНУ им. Г.Остроградского. – 2013, вып.4 (81). – С. 166-169.
15. Сенько О.В., Гладченко М.А., Лягин И.В. и др. Трансформация биомассы фототрофных микроорганизмов в метан // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2012, № 03 (107). – С. 89-94.
16. Rawat I., Kumar R.R., Mutanda T. et al. Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production // Applied Energy. – 2011, Vol. 88, Is.10. – P. 3411-3424.
17. Муштрук М., Сухенко Ю., Сухенко В. Перспективные технологии производства дизельного биотоплива // Техника и технологии АПК. – 2012, №9. – С. 28-31.
18. Elshahed M.S. Microbiological aspects of biofuel production: Current status and future directions // Journal of Advanced Research. – 2010, Vol.1, Is. 2. – P.103-111.
19. Koutinas A.A., Chatzifragkou A., Kopsahelis N. et al. Design and techno-economic evaluation of microbial oil production as a renewable resource for biodiesel and oleochemical production // Fuel. – 2014, Vol. 116. – P. 566-577.
20. da Silva T.L., Gouveia L., Reis A. Integrated microbial processes for biofuels and high value-added products: the way to improve the cost effectiveness of biofuel production // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2014, Vol. 98, Is. 3. – P. 1043-1053.
21. Jin H., Chen L., Wang J. et al. Engineering biofuel tolerance in non-native producing microorganisms // Biotechnology Advances. – 2014, Vol. 32, Is. 2. – P. 541-548.

22. Семенюк Н.В., Гуменюк О.Б. Обеспечение экологической и энергетической безопасности государства путем стимулирования развития альтернативной энергетики // Вестник Хмельницкого национального университета. – 2012, №5. – С. 48-51.
23. Shi S., Valle-Rodríguez J.O., Siewers V. et al. Prospects for microbial biodiesel production // *Biotechnology Journal*. – 2011, Vol. 6, Is.3. – P. 277-285.
24. Jang Y.-S., Park J.M., Choi S. et al. Engineering of microorganisms for the production of biofuels and perspectives based on systems metabolic engineering approaches // *Biotechnology Advances*. – 2012, Vol. 30, Is. 5. – P. 989-1000.
25. Cheng J.J., Timilsina G.R. Status and barriers of advanced biofuel technologies: A review // *Renewable Energy*. – 2011, Vol. 36, Is.12. – P. 3541-3549.
26. Harun R., Yip J.W.S., Thiruvankadam S. et al. Algal biomass conversion to bioethanol – a step-by-step assessment // *Biotechnology Journal*. – 2014, Vol. 9, Is. 1. – P. 73-86.
27. Гармаш С.Н. Биотрансформация целлюлозосодержащих отходов с целью получения этанола // *Вопросы химии и химической технологии*. – 2013, №5. – С. 17-22.
28. Limayem A., Ricke S.C. Lignocellulosic biomass for bioethanol production: Current perspectives, potential issues and future prospects // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 2012, Vol. 38, Is. 4. – P. 449-467.
29. Weber C., Farwick A., Benisch F. et al. Trends and challenges in the microbial production of lignocellulosic bioalcohol fuels // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2010, Vol. 87, Is. 4. – P.1303-1315.
30. Brennan L., Owende P. Biofuels from microalgae – A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2010, Vol. 14, Is. 2. – P. 557-577.
31. Huang J., Chen D., Wei Y. et al. Direct Ethanol Production from Lignocellulosic Sugars and Sugarcane Bagasse by a Recombinant *Trichoderma reesei* Strain HJ48 // *Scientific World Journal*. – 2014, Vol. 2014. – P. 1-8.
32. Mohammadi M., Najafpour G.D., Younesi H et al. Bioconversion of synthesis gas to second generation biofuels: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2011, Vol.15, Is. 9. – P.4255-4273.
33. Basak N., Jana A.K., Das D. et al. Photofermentative molecular biohydrogen production by purple-non-sulfur (PNS) bacteria in various modes: The present progress and future perspective // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2014, Vol. 39, Is. 13. – P. 6853-6871.
34. Dincer I. Green methods for hydrogen production // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2012, Vol. 37, Is. 2. – P. 1954-1971.

35. Mata T.M., Martins A.A., Caetano N.S. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews . – 2010, Vol.14, Is. 1. – P. 217-232.
36. Karatay S.E., Dönmez G. Microbial oil production from thermophile cyanobacteria for biodiesel production // Applied Energy. – 2011, Vol. 88, Is.11. – P. 3632-3635.
37. Survase S.A., van Heiningen A., Granström T. Continuous bio-catalytic conversion of sugar mixture to acetone-butanol-ethanol by immobilized *Clostridium acetobutylicum* DSM 792 // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2012, Vol. 93, Is. 6. – P. 2309-2316.
38. Li H.-G., Luo W., Wang Q. et al. Direct Fermentation of Gelatinized Cassava Starch to Acetone, Butanol, and Ethanol Using *Clostridium acetobutylicum* Mutant Obtained by Atmospheric and Room Temperature Plasma // Applied Biochemistry and Biotechnology. – 2014, Vol. 172, Is. 7. – P. 3330-3341.