

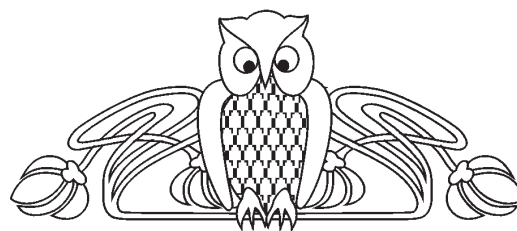


УДК 631.147:631.46:663.11

## МИР МИКРООРГАНИЗМОВ С ПОЗИЦИЙ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

С. Н. Петрова, Н. В. Парахин

Орловский государственный аграрный университет  
E-mail: svet-orl@yandex.ru



Рассмотрена роль и биоразнообразие микроорганизмов, используемых в технологиях производства основных видов биотоплив. Поток свободной энергии, которую используют живые системы, зарождается в популяциях микробов и трансформируется в растительную биомассу, являющуюся сырьём для альтернативной энергетики. Показана возможность снижения энергозатрат на ремедиацию почвы и производство сельскохозяйственной продукции в союзе с почвенными микробными сообществами. Экономический эффект от использования растительно-микробных симбиозов Орловской области может составить не менее 2,7 млн долл. в год.

**Ключевые слова:** микроорганизмы, биотопливо, растительно-микробные системы, биопрепараты, энергосбережение.

### The World of Microorganisms in Energy Saving

S. N. Petrova, N. V. Parakhin

The role and biodiversity of the microorganisms used in production technologies of main types of biofuels is considered. The stream of free energy which is used by live systems, arises in populations of microbes and is transformed to the vegetable biomass which is raw materials for alternative power engineering. Possibility of decrease in energy consumption on a remediation of the soil and production of agricultural production in the union with soil microbic communities is shown. Economic effect of use of plant-microbial symbioses in the Oryol region can make not less than 2,7 million dollars/year.

**Key words:** microorganisms, biofuel, plant-microbial systems, biofertilizers, energy saving.

Охвативший нашу планету энергетический кризис заставил человечество ускоренными темпами переходить на альтернативные источники энергии. Согласно прогнозам Международного энергетического агентства (International Energy Agency), к 2020 г. наш мир будет получать 14% всей энергии из возобновляемых источников [1]. При этом доля энергии, получаемой из биомассы, в мировой структуре альтернативной энергетики растёт с каждым годом и уже составляет 13%, а в долгосрочной перспективе достигнет 23,8% [2] и обеспечит дополнительно 200 ГВт мощности [3].

Успехам биоэнергетики посвящено множество книг и статей, на телевидении и в Интернете бурно обсуждают возможности и перспективы использования различных видов топлив из растительной биомассы. Но что стоит за каждым литром биодизеля, биоэтанола или биогаза, за

каждым килограммом зерна, опилок или соломы для их производства? Большинство ответит, что это точно не микробы, поскольку их место в медицинских пробирках и бутылке с кефиром. Однако не всё так просто.

Во-первых, все виды биотоплив без микроорганизмов получить не удастся, поскольку ферментативные процессы, лежащие в основе получения биогаза, этанола и метилового эфира (если речь, конечно, идет о биопроизводстве), имеют микробное происхождение. Основными примерами этанольных бактерий, участвующих в процессе получения биоэтанола из растительного сырья являются: *Erwinia amylovorans*, *Sarcinia ventriculi*, *C. thermocellum*, *C. thermosaccharolyticum*, *C. thermohydrosulfuricum*, *Thermoanaerobacter ethanolicus*, *Thermoanaerobium brockii* и представители рода *Zymomonas*. Ежегодное производство технического этанола только в европейских странах составляет более  $1,5 \times 10^6$  т, две трети которых синтезируют дрожжи. В зависимости от технологии из 1 т зерна можно получить 312–625 л биоэтанола [4]. В настоящее время АВЕ-ферментация (acetone-butanol-ethanol) с использованием растительного сырья значительно уступает по рентабельности химическому синтезу из нефтепродуктов. Однако в исторической ретроспективе это был первый «настоящий» биотехнологический процесс, основанный на применении специально отобранного штамма [5].

В основе биогазовых технологий лежат сложные природные процессы биологического разложения органики, разрушающейся анаэробным деструктивным сообществом, в состав которого входят гидролитики, ацидогенные бактерии, ацетогенные бактерии и метаногенные археи (от *Clostridium* до *Euryarcheota*). Не менее 1% растительной биомассы, образующейся в результате фотосинтетической ассимиляции неорганического углерода, ежегодно превращается в  $10^9$  т метана. Выход биогаза из 1 т сухого вещества растительных отходов и сорняков для различных растительных масс составляет: для соломы пшеничной – 342; стеблей кукурузы –



зы – 420; шелухи подсолнечника – 300; ботвы картофеля – 420; сорной растительности – 500 м<sup>3</sup>.

Для производства биодизеля микробиологи из мюнстерского Института молекулярной микробиологии и биотехнологии (Institut für Molekulare Mikrobiologie und Biotechnologie von Universitaet Muenster) создали трансгенную кишечную палочку (*Escherichia coli*), способную синтезировать смесь этиловых эфиров в количестве 36% от собственной биомассы, которые и служат топливом для двигателя автомобиля. Сырьем для переработки может служить не только масло, но и остатки того растения, из которого его получили. Кроме того, способность перерабатывать древесину непосредственно в дизельное топливо была обнаружена и у микроскопического гриба, открытого в Южной Америке в 2005 г. и получившего название *Gliocladium roseum* [6].

Во-вторых, без микроорганизмов невозможен и синтез растительной биомассы, являющейся сырьем для биотопливной энергетики.

Дело в том, что растения выполняют функцию продуцентов в экосистемах, прежде всего, благодаря взаимодействию с микроорганизмами [7]. Более того, получило развитие учение о симбиогенном происхождении растительной клетки, согласно которой важнейшие клеточные органеллы – пластиды и митохондрии – возникли в ходе эволюции 1,5 млрд лет назад благодаря симбиозу между цианобактерией и протоэукариотным хозяином [8].

Это стало одним из крупнейших ароморфозов в эволюции органической жизни, благодаря чему мир разделился и состоит из многочисленных царств одноклеточных ядерных организмов (сборная группа *Protista*), царства растений (*Plantae*), грибов (*Fungi*) и животных (*Animalia*), которые представляют собой единую биосферную систему. При этом устойчивость этой системы прямо связана с силой взаимосвязи между соседними видами, которую осуществляют микроорганизмы [9, 10]. Последние являются донорами адаптивно значимых функций для всего живого, поскольку приспосабливаются к условиям изменяющейся окружающей среды в 26 тыс. раз быстрее растений и в 400 тыс. раз быстрее человека.

Хозяйственная деятельность человека нанесла природе возможно непоправимый ущерб, нарушила замкнутость практически всех важнейших биогеохимических циклов (особенно углерода). С каждым годом глобальная климатическая система и аграрное производство всё меньше синхронизированы между собой, что

делает занятие сельским хозяйством всё трудней для фермеров во всем мире [11].

В процессе своей хозяйственной деятельности мы не учитываем колоссальный биологический потенциал почвы: в 1 г почвы находится несколько миллиардов живых микроорганизмов, относящихся к многим тысячам видов, а совокупный генетический материал 1 г почвы превышает миллион человеческих геномов. Биомасса микробов в почве (незахимиченной) доходит до 10 т/га.

С позиций производства продовольствия рост урожайности растений без почвенных микроорганизмов невозможен. В результате микробиологической деятельности растение получает для фотосинтеза столь необходимый и незаменимый углерод. Формирование 5 т/га зерна пшеницы требует усвоения 200 кг/га CO<sub>2</sub> в сутки, а за 100 дней вегетации растению необходимо 20 т/га. В атмосфересодержится всего 0,03% CO<sub>2</sub>, тогда как в воздухе, поступающем из почвы, концентрация углекислого газа может достигать 10% благодаря активному микробному метаболизму [12]. Поэтому углерод, находясь в минимуме, всегда будет лимитировать урожайность сельскохозяйственных растений, сколько бы мы не сыпали в почву минеральных удобрений. Следовательно, чем лучше условия мы создадим для активной микробиологической деятельности, чем больше бактерий будет в почве, тем выше урожай.

В-третьих, используя уникальные способности микробов и растений, мы можем сократить энергетические затраты и на производство растениеводческой продукции. Такой важнейший органогенный элемент, как азот, может быть получен растением в симбиозе с почвенными микроорганизмами. Бесспорно, азотное удобрение – это очень эффективный способ увеличения урожая, и обеспечить высокую белковую продуктивность небобовых культур можно лишь с помощью его применения. Однако растения усваивают лишь 50% азота, вносимого в почву, остальное теряется в окружающую среду и временно закрепляется почвой. На техническую фиксацию 1 т азота и превращение ее в минеральные азотные удобрения затрачивается около 80 ГДж энергии, требуется давление около 30 МПа, температура приблизительно 500°C и катализатор, состоящий из Fe, активированного K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO и др. [13]. Какое колоссальное количество энергии! Биологическая же фиксация азота (в отличие от технической) происходит при нормальном давлении и температуре благодаря высокой эффективности ферментативной систе-



мы микроорганизмов рода *Rhizobium*, *Frankia*, *Anabaena*, *Clostridium*, *Azospirillum* и др. Количество биологического азота, вовлекаемого в биологический синтез, может составлять несколько сотен кг/га, что позволяет повышать уровень урожайности сельскохозяйственных культур, получать высококачественную и экологически безопасную продукцию.

Выявлено, что экономический эффект симбиотической азотфиксации составляет, в зависимости от вида растений, 19...57 долл. на 1 га. Американские ученые подсчитали, что кукуруза, выращиваемая в США на площади 32 млн га, может использовать 25 кг азота, фиксированного бобовым предшественником на 1 га, следовательно, экономический эффект, получаемый при этом, составляет 560 млн долл. в год (из расчета 0,7 долл. на 1 кг). В расчете на типичную ферму, имеющую посевную площадь 150 га, экономия составит 2600 долл. в год [14]. Подобный расчет несложно сделать применительно и к условиям России. Например, в Орловской области экономический эффект от использования симбиотической азотфиксации может составить не менее 2,7 млн долл. в год [15, 16].

Использование фосфатмобилизирующих микроорганизмов рода *Glomus* является едва ли не единственной формой почвенного питания растений в холодных таежных и сухих полупустынных и пустынных областях. Симбиоз этого гриба с культурными растениями служит альтернативой внесения больших количеств фосфорных удобрений, позволяя экономить до 50% минеральных туков [17, 18].

Большой популярностью в сельском хозяйстве пользуются препараты на основе *Bacillus thuringiensis*, позволяющие снизить затраты на средства защиты растений, например, плантаций картофеля от колорадского жука, в 2 раза [19]. Показана, например, перспективность использования препарата, включающего энтомопатогенный гриб *Metharhizium anisopliae* [20]. За сезон разбрызгивание этого препарата обходится в 10 долл. на 1 га. В Африке, по расчетам Международного института тропического земледелия, для подавления взрослой саранчи требуется 500 млн долл., в то время как применение биологических средств в резервациях составляет 15 млн долл. Не менее эффективен и препарат на основе хищного гриба *Arthrobotrys oligospora* (**нематофагин**), рекомендуемый для защиты сельскохозяйственных и декоративных культур закрытого грунта от галловых нематод. Список биопрепаратов (как грибных, так и бактериальных), широко используемых в сельском

хозяйстве, можно дополнить еще как минимум десятком наименований. Как правило, все они не только экономичнее, но и экологичнее, нежели химические препараты.

Нерациональное использование агрохимикатов, в том числе химических средств защиты растений, приводит к выведению из оборота больших площадей сельскохозяйственных земель вследствие накопления в них токсических поллютантов [21]. Ремедиация таких угодий порой обходится в сотни тысяч долларов в год [14]. Использование полезных микроорганизмов для этих целей обойдется значительно дешевле и обеспечит устойчивое состояние среды. Так как плодородие и самоочищение почв напрямую зависит от микробиологических процессов [22, 23].

Таким образом, выращивание биомассы, используемой как в пищевой, так и в биоэнергетической промышленности, неразрывно связано с микроорганизмами, которые являются локомотивом органической эволюции, трофическим фундаментом биосферы и основой плодородия, им нет равных по физиологическим возможностям, их разнообразие – неисчерпаемо [15]. В своей битве за урожай мы должны рационально использовать природные ресурсы и сохранить этот уникальный мир бесконечно малых существ.

Вы до сих пор думаете, что микроорганизмы – это просто «микробы»?

#### Список литературы

1. *Комор П., Пикин С.* Проблемы и перспективы развития альтернативной энергетики // Центр энергетической экспертизы [сайт]. URL: <http://www.energy-experts.ru/online7692.html> (дата обращения: 25.10.2012).
2. *Инновационное развитие альтернативной энергетики* : в 2 ч. М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2010. Ч. 1. 348 с.
3. *Campbell J. E., Lobell D. B., Field B.* Greater transportation energy and GHG offsets from Bioelectricity than ethanol // *Science*. 2009. Vol. 324. P. 1055–10157.
4. *Браун Л.* Как избежать климатических катастроф? План Б 4.0 : спасение цивилизации. М. : Эксмо, 2010. 590 с.
5. *Пиневиц А. В.* Микробиология. Биология прокариотов : учебник : в 3 т. СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2007. Т. 2. 331 с.
6. *Strobel G. A., Daisy B., Castillo U.* Novel Natural Products From Rainforest Endophytes // *Natural Products*. 2005. Vol. 5. P. 329–351.
7. *Бигон М.* Экология. Особи, популяции и сообщества : в 2 т. М. : Мир, 1989. Т. 1. С. 619–660.



8. Тихонович И. А., Проворов Н. А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агро-систем будущего. СПб. : Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2009. 210 с.
9. Заварзин Г. А. Микробы держат небо // Наука из первых рук. 2004. № 1(2). С. 20–28.
10. Заварзин Г. А. Эволюция геосферно-биосферной системы // Природа. 2003. № 1. С. 27–35.
11. Brown L. R. The New Geopolitics of Food // Foreign Policy. 2011. May-June.
12. Слащунин Ю. И. Удобрения делай сам, или кругооборот высоких урожаев. СПб. : Реал, 1996. 63 с.
13. Фарниев А. Т., Посыпанов Г. С. Биологическая фиксация азота воздуха, урожайность и белковая продуктивность бобовых культур в Алании. Владикавказ : Ирстон, 1996. 210 с.
14. Vance C. P. Legume symbiotic nitrogen fixation: agronomic aspects // The Rhizobiaceae / eds. H. P. Spaink, A. Kondorosi, P. J. J. Hooykaas. Dordrecht, 1998. P. 509–530.
15. Парахин Н. В., Петрова С. Н. Сельскохозяйственные аспекты симбиотической азотфиксации. М. : КолосС, 2006. 158 с.
16. Петрова С. Н., Парахин Н. В. Энергосбережение в растениеводстве на основе растительно-микробных взаимодействий // Зернобобовые и крупяные культуры. 2012. № 3. С. 18–20.
17. Кирпичников Н. А., Волков А. А., Чернышкова Л. Б., Юрков А. П., Якоби Л. М., Кожемяков А. П., Завалин А. А. Влияние фосфорных удобрений, известкования и биопрепаратов на растения ячменя и клевера в смешанном посеве // Агрохимия. 2012. № 11. С. 16–27.
18. Парахин Н. В., Прилепская Н. А., Петрова С. Н. Использование микробиологических препаратов комплексного действия в агроценозах гороха посевного // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 2. С. 86–90.
19. PGPR : Biocontrol and Biofertilization / ed. Z. A. Siddiqui. Springer, 2006. Vol. XIII. 318 p.
20. Tounou A. K., Kooyman Ch., Douro-Kpindou O. K., Poehling H. M. Combined field efficacy of *Paranosema locustae* and *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* for the control of sahelian grasshoppers // J. BioControl. 2007. Vol. 53, № 5. P. 813.
21. Гродницкая И. Д., Сорокин Н. Д. Использование микромицетов *Trichoderma* в биоремедиации почв лесопитомников // Изв. РАН. Сер. Биологическая. 2006. № 3. С. 1–5.
22. Колупаев А. В., Ашихмина Т. Я., Широких И. Г. Реакция почвенных микромицетов на пестицидное загрязнение // Иммунология, аллергология, инфектология. 2009. № 2. С. 50–51.
23. Олискевич В. В., Талаловская Н. М., Третьякова С. Э., Барышникова Е. А., Ксенофонтова О. Ю., Гребеницкова В. А., Андрюхина И. Ю., Басова Е. В., Правдивцева М. И., Живайкина Ю. А., Иванова Е. В. Оптимизация технологии биоремедиации сельскохозяйственных земель, загрязненных гербицидом «Гезагард» // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2013. Т. 13, вып. 2. С. 101–107.

УДК 581.5

## ВОДНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ОСТРОВА ЧАРДЫМСКИЙ В ПРЕДЕЛАХ СОЛ СГУ «ЧАРДЫМ»

Л. В. Миронова, О. Н. Давиденко, С. А. Невский

Саратовский государственный университет  
E-mail: alenka71980@mail.ru

Приводятся данные по синтаксономическому составу высшей водной растительности в пределах СОЛ СГУ «Чардым». Дана характеристика наиболее распространенных ассоциаций. Анализируются основные направления динамики водной растительности за 2010–2013 гг. Выявлена тенденция к увеличению площади, занятой высшей водной растительностью в пределах изученной территории, и снижению доли сообществ гидрофитных формаций в сложении растительного покрова. Выявлены ассоциации, ранее не указанные для Волгоградского водохранилища.

**Ключевые слова:** водная растительность, динамика, остров Чардымский, Саратовская область.



### The Aquatic Vegetation of the Island Chardym in the Territory of Saratov State University Sport-holiday Camp «Chardym»

L. V. Mironova, O. N. Davidenko, S. A. Nevskiy

The data about syntaxonomic composition of the higher aquatic vegetation within the island Chardym in the territory of Saratov State University sport-holiday camp «Chardym» and the characteristic of the most common associations are performed. The basic directions of aquatic vegetation dynamics for the 2010–2013 years are considered. A trend to increase the area occupied by higher aquatic vegetation