

Биотехнология — шанс для России

Российская Федерация обладает уникальными возможностями для использования растительных ресурсов в качестве сырья для биотехнологических производств. Значительная часть нефти и газа может быть заменена биотопливом и химикатами из возобновляемого сырья. Развитие биотехнологий стимулирует сельское и лесное хозяйство, даст миллионы новых рабочих мест.

Ключевые слова: биотехнология, топливный этанол, биодизель, биоразлагаемые полимеры, химикаты из возобновляемого сырья, этанол из синтез-газа.



В. Г. Дебабов,
д. б. н., член-корреспондент РАН,
ФГУП «ГосНИИгенетика», Москва
e-mail: debabov@genetika.ru

Биотехнология наряду с информатикой и науками о материалах будет определять научно-технический прогресс в XXI веке.

Промышленная биотехнология — это микробиологический синтез, осуществляемый в промышленных масштабах. Субстратами для микробиологического синтеза являются сахара — сахароза (из сахарного тростника), глюкоза, получаемая гидролизом крахмала (из кукурузы, пшеницы, картофеля), смесь гексоз и пептоз, получаемых при гидролизе лигноцеллюлозы (древесина, солома, кукурузная кочерыжка и др. сельскохозяйственные отходы). Традиционными продуктами промышленной биотехнологии являются ферменты, аминокислоты, витамины, органические кислоты, спирты, биологические средства защиты растений, антибиотики.

Тенденцией последнего десятилетия является бурное развитие науки и технологий, направленных на производство моторного топлива и химикатов из возобновляемого сырья, т. е. растительной биомассы, для замены нефтехимического производства.

В табл. 1 приведены основные продукты микробиологической промышленности (2012 г.). Удачным примером крупномасштабного производства является этанол, который используется, главным образом, как кислородсодержащая добавка к бензину (5–15%), но также и как сырье для производства полиэтилена. В Бразилии уже в 2013 г. были созданы производства мощностью 400 тыс. т в год полиэтилена из этанола.

В табл. 2 перечислены перспективные продукты. Некоторые из них в стадии разработки, например 3-оксипропионовая кислота, некоторые на стадии пилотных заводов (1,4-бутандиол), другие в стадии быстро развивающейся промышленности. Так, если в 2012 г. производство биоянтарной кислоты составляло 30 тыс. т, то в 2014 г. предполагается около 50 тыс. т, в 2015 г. более 80 тыс. т. Китай объявил о планах строительства завода по производству 500 тыс. т в год янтарной кислоты.

При масштабах производства в миллионы и десятки миллионов тонн в год критическим моментом для развития промышленной биотехнологии является сырье, наличие энергии и пресной воды, необходимых для микробиологического производства.

Сегодня все микробиологическое производство базируется на сахаре из сахарного тростника и глюкозных сиропах из крахмала кукурузы и пшеницы.

Огромные усилия по разработке технологии осахаривания лигноцеллюлозы пока не привели к технологическому прорыву. До сих пор цена сахаров, получаемых гидролизом сельскохозяйственных отходов и древесины, выше, чем глюкозы из крахмала, а качество этих сахаров, как субстратов для микробиологического синтеза ниже. Тем не менее, прогресс в этой области очевиден. В США работает несколько пилотных заводов по производству этанола из гидролизатов (этот этанол часто называют целлюлозным). В 2012 г. в США произведено 70 тыс. т целлюлозного этанола из 40 млн т общего производства (из кукурузного крахмала). В Италии в 2013 г. запущен первый промышленный завод по производству топливного этанола из гидролизатов соломы мощностью 70 тыс. т в год.

Можно смело предполагать, что гидролизаты лигноцеллюлозы станут главным сырьем для крупномасштабного производства биотоплива и химикатов в среднесрочной перспективе (10–15 лет).

Следует отметить, что в Российской Федерации имеется исторический опыт использования гидролизатов лигноцеллюлозы. В СССР была большая гидролизная промышленность, производившая этанол, кормовые дрожжи. Отрасль полностью исчезла из-за малой рентабельности и тяжелых последствий для экологии применявшейся технологии гидролиза лигноцеллюлозы крепкой серной кислотой при высоких температурах.

Сегодня в Российской Федерации имеется достаточный научный потенциал для развития современной гидролизной промышленности, основанной на

Таблица 1
Основные продукты микробиологической промышленности
(мировое производство 2012 г.)

Продукт	Объем производства, млн т/год	Стоимость, \$/кг	Объем производства, \$ млрд
Топливный этанол	100	0,4	40
Лизин	1,8	2,5	4,5
Ферменты	–	–	4
Антибиотики	–	–	2,5
Глутамат натрия	2,1	1,0	2,1
Лимонная кислота	2	0,8	1,6
Треонин	0,25	3,0	0,75
Молочная кислота	0,4	1,8	0,72
Рибофлавин	0,006	30	0,18

ферментативном гидролизе с помощью целлюлозных комплексов. Лидером в этой области в Российской Федерации является МГУ, кафедра химической энзимологии (профессор А. П. Синицин).

Настоящим технологическим прорывом за последние 5 лет явилась разработка технологии микробиологического синтеза с использованием газообразных субстратов (синтез-газа).

Технология получения синтез-газа (смеси CO, H₂ и CO₂) давно и хорошо разработана химиками (табл. 3). С середины 1980-х гг. прошлого века были известны бактерии, способные использовать синтез-газ, как единственный источник углерода и энергии. Эти бактерии получили название ацетогены, так как главным продуктом ферментации этих анаэробных бактерий была уксусная кислота. Однако при определенных генетических модификациях главным продуктом ферментации ацетогенов может стать и этанол. Технологическим прорывом стал способ культивирования таких организмов в реакторах, типа колонок с полыми волокнами, которые реализовали высокую скорость массообмена для CO и H₂ — газов плохо растворимых в воде. В 2013 г. в США фирма «Ineos Bio» осуществила пуск первого промышленного завода по производству этанола из синтез-газа мощностью 40 тыс. т. Сырье — солома и отходы лесной промышленности (частично муниципальный мусор). Ряд других компаний — «Coskata» (США), «Lonzatech» (Новая Зеландия) — успешно развивают эту технологию. К сожалению, в Российской Федерации даже научные работы в данном направлении не ведутся, хотя не исключено, что эта технология может стать главной в переработке лигноцеллюлозного сырья.

Российская Федерация обладает огромным потенциалом растительного сырья. На территории Российской Федерации произрастает около 1/3 всех лесов

Таблица 3
Состав сингаза, получаемого из древесины

H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂	MJ/м ³
15–17	21–22	10–11	5–6	46–47	7,5

Таблица 2
Перспективные продукты микробиологической промышленности

Продукт	Объем производства сегодня, т	Объем рынка к 2030 г., т
Янтарная кислота	~ 30 тыс.	1 млн
1,4-бутандиол	~ 500	1,8 млн
Полигидроксиалконаты (3 НВ/3 НУ)	10 тыс.	500 тыс.
1,3-пропандиол	50 тыс.	200 тыс.
3-оксипропионовая кислота	–	2 млн
Акриловая кислота	–	5 млн
Изобутанол	70 тыс.	20 млн
Изопрен	5–10	1 млн
Н-бутанол	300 тыс.	2 млн
Итаконовая кислота	70 тыс.	400 тыс.

планеты, и мы обладаем 13% всей пашни (рис. 1). Было бы большой ошибкой не использовать это природное конкурентное преимущество для развития биотехнологии в стране.

Конечно, это потенциальное преимущество. Многие массивы леса в Российской Федерации просто недоступны из-за отсутствия дорог. Кроме того, существующие в стране экономические условия не способствуют развитию производства ни в одной области. Так, лесозаготовки в Российской Федерации уже много лет колеблется вокруг цифры 110–120 млн плотных м³, в то время как на этой же территории в 1988 г. заготавливали 350 млн плотных м³. В Российской Федерации заброшено 30–40 млн пахотных земель (–20% всей пашни). Но даже существующий уровень лесозаготовок и производства зерна дает огромные ресурсы сырья. По самой низшей оценке можно легко использовать 10–15 млн м³ лесных отходов (опилки, кора и т. д.) и 30–40 млн м³ соломы в качестве сырья в среднесрочной перспективе.

В настоящее время Российская Федерация производит избыток зерна, которое она экспортирует (около 20 млн т в год). При этом экспорт из внутренних районов (Алтай, Сибирь, Башкортостан) затруднителен из-



Рис. 1. Состав сырья для биотоплива в РФ

за дальних перевозок. В связи с этим обстоятельством ближней перспективой может стать глубокая переработка зерна в клейковину, крахмал, глюкозные сиропы и отруби. Интересно, что из-за высокой стоимости пшеничной клейковины стоимость глюкозных сиропов из пшеницы в Европе и кукурузы в США очень близки (\$0,463 за 1 кг для кукурузы, \$0,467 — для пшеницы). Таким образом, Российская Федерация имеет конкурентоспособное по ценам сырье уже сегодня.

В Российской Федерации работает ряд крупных предприятий по глубокой переработке зерна, например, Ефремовский завод в Тульской области, принадлежащий американской компании «Cargill» — ведущему мировому производителю глюкозных и фруктозных сиропов. Мощность предприятия около 300 тыс. т зерна (кукурузы и пшеницы). С 2010 г. действует завод по переработке зерна отечественных производителей в г. Миллерово, Ростовской области, мощностью около 180 тыс. т (фирма «Амилко»). Строится ряд других заводов, например, завод в Калужской области мощностью около 250 тыс. т зерна. В целом, по стране мощность заводов глубокой переработки зерна может превысить 1 млн т по зерну уже в 2014–2015 гг.

Появление на отечественном рынке дешевых глюкозных сиропов — мощный стимул и необходимое условие развития микробиологической промышленности. В 2014 г. намечен запуск завода по производству лизин-сульфата в Белгородской области (35 тыс. т по чистому лизин гидрохлориду). Другой завод еще большей мощности, возможно, будет пущен в 2015–2016 гг. в Ростовской области при участии фирмы «Evonic». Оба эти предприятия будут работать на глюкозных сиропах, получаемых при переработке зерна.

Препятствием для развития промышленной биотехнологии в Российской Федерации является общая экономическая политика Правительства. Результат этой политики дорогие кредиты, высокие цены на энергоносители. Так, по сравнению со Средним Западом США внутренняя цена природного газа в РФ в 2 раза выше, электричества на 50% выше. Цена кредита в США около 5% годовых (с отсрочкой выплат процентов на 3 года).

В настоящее время Правительство Российской Федерации декларировало приоритетность развития биотехнологии в стране. Комплексная программа развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 г. утверждена Правительством Российской Федерации 24 апреля 2012 г. Однако, эта про-

грамма не предусматривает целевого финансирования и реальных стимулов развития производства.

При соответствующей государственной поддержке (выравнивание экономических условий с другими странами) биотехнология может стать одной из ведущих отраслей промышленности в Российской Федерации в XXI веке. Объем сырья для биотехнологической отрасли (отходы лесной промышленности и солома) при доведении лесозаготовок до уровня 1988 г. и сборе зерна в 110–120 млн. т может составить около 200 млн т лигноцеллюлозы, т. е. 150 млн т сахаров. Из этого количества можно произвести биотехнологической продукции около 75 млн т. Средняя цена таких продуктов как лизин, органические кислоты и другие крупнотоннажные химикаты от \$1 до 2 за кг, т. е. отрасль, может выдавать продукцию на \$75–150 млрд. (Это эквивалентно экспорту 125–250 млн т нефти при цене \$100 за баррель.) Этот сценарий не является технологической утопией. Так, в США с 2000–2011 гг. построили 148 заводов по производству топливного этанола и довели его производство из кукурузы до 40 млн т и планируют довести до 100 млн т к 2030 г. (на базе уже лигноцеллюлозы).

Развитие биотехнологических производств даст миллионы рабочих мест, будет способствовать развитию регионов, стимулирует сельское хозяйство. При этом биотехнологические производства экологичны и безотходны. На базе биотехнологических продуктов будут развиваться такие новые области химии как биоразлагаемые полимеры.

Биотехнология даст шанс Российской Федерации остаться ведущей сырьевой державой в постнефтяную эру.

Biotechnology — a chance for Russia

V. G. Debabov, Doctor of biotechnological sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences.

The Russian Federation has unique opportunities for use of plant resources as raw materials for biotechnological production. Much of the oil and gas can be replaced by biofuels and chemicals from renewable raw materials. Stimulates the development of biotechnology agriculture and forestry, will give millions of new jobs.

Keywords: biotechnology, fuel ethanol, biodiesel, biodegradable polymers, chemicals from renewable raw materials, ethanol from syngas.