НАУКА ЗА РУБЕЖОМ

Ноябрь, 2019 (№ 84)

УСТОЙЧИВАЯ БИОЭКОНОМИКА:
ВОПРОСЫ СТРАТЕГИИ

Наука за рубежом

№ 84, ноябрь 2019

Ежемесячное аналитическое обозрение
Издается с 2011 г., индексируется в РИНЦ
Электронное издание:

www.issras.ru/global_science_review

DOI: <https://dx.doi.org/10.37437/2222517X-2019-84-9-1-44>

Редакционная коллегия:

Л. К. Пипия (руководитель проекта), В. С. Дорогокупец,
О. Е. Осипова, Н. В. Шашкова, В. А. Хохлова

**Рубрики: «Биотехнологии и генетика. Сельское хозяйство, пищевая
и химическая промышленность»**

Авторы выпуска: **Л. К. Пипия, А. Г. Елкин**

Перевод: **А. Г. Елкин**

Выпускающее подразделение: **Сектор анализа зарубежной науки**

Редактор **О. Е. Осипова**

Компьютерная верстка: **Н. В. Шашкова**

Художник **А. Н. Горностаева**

Размещение в сети Интернет: **К. В. Никитин, Н. В. Шашкова**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Оценка биомассы и ее использование в экономике	6
2. Биотехнологии и устойчивость биомассы	11
3. Биопереработка и ее финансирование	18
4. Основные тенденции в сфере производства биоматериалов	24
ПРИЛОЖЕНИЕ	32
Рис. 1. Основные направления поставок биомассы: 2011	32
Рис. 2. Потенциал биомассы по базовому и оптимистичному сценариям	32
Рис. 3. Селекционная работа в целях роста производства мяса кур и более эффективного расходования кормов	33
Рис. 4. Базовая схема биопереработки	34
Рис. 5. Процессы конверсии в топливной биопереработке	35
Рис. 6. Сравнение целевых подходов в финансировании исследовательских работ в разных странах	36
Рис. 7. Производственная цепочка в биоэкономике	37
Рис. 8. Примерный объем лигноцеллюлозного сырья для биопроизводства в мире	38
Рис. 9. Потенциал биоотходов в странах Евросоюза	39
Рис. 10. Потребление пластика в мире	40
Рис. 11. Химические вещества, получаемые при помощи метаболической инженерии	41
Табл. Объем получаемого масла из наземных растений в сравнении с водорослями	42

Биоэкономика основывается на применении биотехнологий, использующих возобновляемое биологическое сырье. Развитие отраслей биоэкономики предполагает в том числе повышение энергоэффективности, эффективное использование отходов, развитие возобновляемой энергетики на основе биомассы, экологизацию промышленного сектора, повышение устойчивости сельского хозяйства, производство новых продуктов питания, развитие медицинских технологий. По сути, это сложная социально-экономическая система, которая охватывает множество сфер человеческой деятельности.

В своем исследовании эксперты ОЭСР поставили задачу проанализировать основные вызовы и проблемы, стоящие на пути развития биоэкономики в мире, а также определить основные направления политики в интересах ее устойчивого функционирования. В современных условиях мировая экономика все больше нуждается в новых технологиях и инновациях. В основе биоэкономики лежит биомасса – легко возобновляемый растительный материал и животные отходы, которые можно использовать в производстве и промышленности. Однако недостаточно лишь наличия такого материала. Для эффективного функционирования биоэкономики требуется соответствующая техническая и промышленная база, а также высокообразованные, квалифицированные трудовые ресурсы, включая научных исследователей и специалистов ИКТ, необходимых для создания новых процессов разработки продукции.

Такие мировые проблемы, как изменение климата, продовольственная и энергетическая безопасность, тоже имеют непосредственное отношение к биоэкономике и оказывают на нее существенное влияние. Поэтому задачи в данной области следует решать с учетом более широкого контекста. Важно также, чтобы биоэкономика не просто работала в интересах сохранения окружающей среды, но и приносила прибыль, создавала новые рабочие места и давала необходимый импульс развитию экономики как в масштабе отдельной страны, так и на глобальном уровне. Потенциал для этого есть: в европейских странах биоэкономика уже приносит более двух триллионов евро ежегодно и продолжает быстро расти. Но для обеспечения успеха в длительной перспективе нужно сделать еще многое, в том числе готовить новых ученых и поощрять биоориентированное производство.

Введение

Понятие «биоэкономика» пока не имеет единого определения. Авторы доклада ОЭСР трактуют его как хозяйственно-экономическую деятельность, центральная роль в которой отводится биотехнологиям в производственном и промышленном процессах [1]. Прежде всего это связано с переработкой биомассы в материалы, химическую продукцию и топливо. Биомасса благодаря использованию современных технологий может применяться во многих отраслях промышленности: агропромышленном комплексе, энергетике, фармакологии и медицине, химической промышленности и биоинженерии. При этом использование биотехнологий само по себе еще не означает, что биоэкономика успешно заработала. Ее функционирование обуславливается целым комплексом факторов, таких как основанная на знаниях модернизация производственного процесса, безотходная экономика, избирательная специализация (*smart specialization*), экологически ориентированный рост и модернизация сельского хозяйства.

Импульс для формирования биоэкономики был дан примерно десять лет назад. С тех пор около 50 стран, включая государства G7, сформировали национальную стратегию в области биоэкономики либо находятся в стадии ее разработки. Однако переход к производству энергии и материалов на возобновляемом сырье происходит непросто, поскольку связан с рядом сложностей как технического, так и политического характера. В свое время переход от использования дров в качестве топлива к углю, а затем к нефти занял несколько десятилетий. Переориентация экономики на биоресурсы тоже займет немало времени. Переход к биоэкономике во многом зависит от перевода на биосырье процесса производства энергии, топлива и других материалов (биорефайнинг). Пока же глобальная экономика остается зависимой от добычи нефти и производства нефтепродуктов.

Подавляющее большинство ученых сходится во мнении, что именно деятельность человека оказывает первостепенное влияние на процесс изменения климата на нашей планете. Стержнем этой проблемы является необходимость преодолеть прямую связь дальнейшего ухудшения экологической обстановки с экономическим ростом. Как показывают исследования, в случае когда какая-либо страна удваивает свое благосостояние, ее вклад

в загрязнение окружающей среды увеличивается на 80%. Другая проблема – истощение запасов природных ископаемых, и прежде всего нефти. Ее разведанные запасы постоянно сокращаются начиная с 1980-х гг. Эти глобальные вызовы человечеству в то же время открывают возможности для развития биоэкономики с ее возобновляемыми ресурсами.

В целом за счет внедрения биоэкономики можно решить такие глобальные проблемы, как нехватка продовольствия, связанная с ростом населения, истощаемость минеральных ископаемых, загрязнение окружающей среды, социальные и медицинские проблемы. Во многих странах – членах ОЭСР это поняли и целенаправленно работают над реализацией задач по продвижению биоэкономики.

Стимулирование биоэкономики в последние годы осуществляется многими ведущими государствами. Только на биотехнологические исследования США и ЕС в год тратят десятки миллиардов долларов. В КНР финансирование биотехнологий к настоящему времени превысило 1 млрд долл. США в год при тенденции к дальнейшему росту. В ряде стран происходит постепенное замещение традиционных производств на биотехнологические.

Среди основных инструментов поддержки развития биотехнологий выделяются: стимулирование спроса на биотехнологическую продукцию, налоговое регулирование, содействие повышению конкурентоспособности биотехнологических предприятий, развитие образования и науки в сфере биотехнологий, развитие экспериментальной производственной базы, создание биокластеров. При этом для достижения положительного результата целенаправленная политика как со стороны государства, так и частного бизнеса в области биотехнологии и биоэкономики должна осуществляться на всех уровнях – глобальном, региональном и национальном.

1. Оценка биомассы и ее использование в экономике

Мировая промышленность в настоящее время производит огромный объем химической продукции, при этом значительная часть этого производства основана на использовании углеродосодержащего сырья. Очевидно, что в обозримой перспективе потребность человечества в ней не станет меньше. Однако в условиях развития биоэкономики именно биомасса со временем

может заменить природные ископаемые в качестве сырья для создания в том числе пластиковых и текстильных материалов, а также топлива.

И здесь возникает вопрос об источниках такого сырья. Ведь многие развитые страны, и в первую очередь США, скандинавские страны, государства Западной Европы и Япония, уже сейчас обладают достаточно развитой биоинфраструктурой, однако в силу разных причин испытывают недостаток биосырья. В то же время страны, успехи которых в продвижении биоэкономики не столь существенны, располагают соответствующими ресурсами, и даже с избытком. К ним относятся Бразилия, Индия, Китай, Индонезия, Малайзия и Россия (рис. 1).

Следует при этом учитывать, что такое разделение стран на потребителей и производителей биомассы сопряжено с определенными угрозами для развития биоэкономики у обеих сторон. Кроме того, погоня за биоресурсами чревата такими последствиями, как вырубка лесов и передача сельхозугодий под технические культуры в ущерб продовольственным. Например, обезлесение тропиков вследствие вырубки стало причиной значительной концентрации в атмосфере двуокиси углерода.

Использование биомассы может дать обществу значительную выгоду в том, что касается продовольственной и энергетической безопасности. Например, позволит более равномерно распределять энергоресурсы, поставка которых сейчас по большому счету зависит от незначительного числа обладающих запасами традиционного сырья стран, где политическая обстановка не всегда остается стабильной. Более широкое внедрение биотехнологий в сельское хозяйство позволит обеспечить рост производительности и продуктивности в данном секторе, прежде всего в развивающихся странах.

Таким образом, фундаментальными целями развития биоэкономики являются, с одной стороны, стимулирование экономического роста, а с другой – недопущение негативных последствий для окружающей среды. Следует также обеспечивать баланс между использованием биомассы для промышленных и продовольственных целей. Это в том числе касается доли сельскохозяйственных земель, отведенных для выращивания продовольственных и непродовольственных культур.

Достижение этих целей, безусловно, требует выработки и реализации сбалансированной политики в области развития биоэкономики как на национальном, так и на международном уровнях.

Потенциал биомассы. Понятие «потенциал биомассы» подразумевает такое ее количество, которое может быть произведено или получено в национальном, региональном либо глобальном масштабе. В целом оценка может производиться по следующим основным кластерам: сельское хозяйство, леса и биоотходы, а также водные ресурсы. Однако последняя категория в настоящее время является наименее используемой в силу различных причин технического характера, хотя и обладает огромным потенциалом. Следует также учитывать побочные продукты биомассы, такие как уголь, а также соединения, получаемые в результате химических процессов с участием биомассы, например CO₂.

Оценка потенциала биомассы, а также прогнозирование нынешних и перспективных потребностей в ее использовании являются довольно трудными задачами. В настоящее время не существует единых международно признанных методик и инструментов для проведения соответствующих оценок. Поэтому неудивительно, что результаты различных исследований на эту тему сильно отличаются. Для проведения подобного анализа требуется систематизировать и изучить огромное количество факторов, таких как качество и тип почвы, обеспеченность водными ресурсами, биоразнообразие и др., причем нужно обладать данными как регионального, так и глобального масштаба.

Кроме того, отсутствует даже единая классификация типов биомассы, что также ведет к расхождению в оценках ее потенциала в связи с выбором исследователями различных критериев для изучения.

Между тем адекватная оценка потенциала биомассы критически важна для глобальной экономики. Прежде всего потому, что именно биомасса в обозримой перспективе представляется тем единственным сырьем, которое способно полностью или частично заменить нефтепродукты, используемые в настоящее время не только в энергетическом секторе, но и в других отраслях, таких как химическая, текстильная промышленность и производство пластмасс. При этом, видимо, следует исходить из того,

что двумя основными факторами, от которых будет зависеть возможность получения биомассы в интересах развития биоэкономики, являются сельскохозяйственные земли и лесные ресурсы. Как представляется экспертам ОЭСР, оценка возможностей использования именно этих ресурсообразующих секторов является ключевой в анализе вероятных объемов получаемого биосырья.

Даже при том понимании, что леса и сельскохозяйственные земли можно рассматривать в качестве отправной точки для оценки потенциала биомассы, в этом вопросе все же остается множество неясных моментов. В частности, довольно сложно рассчитать объем земельных угодий, которые в перспективе могут использоваться для выращивания технических культур без ущерба для продовольственных нужд населения. Весьма трудно также предсказать возможности задействовать для этих целей целинные земли без вреда для окружающей среды. В расчет опять же необходимо брать виды почвы, их плодородность, климатические особенности каждого отдельного региона, методы ведения хозяйства и т. д.

Кроме того, невозможно точно определить будущие объективные потребности человечества в биомассе, что является еще одним элементом неопределенности. Эти перспективы будут зависеть не только от экономических факторов, но и от соответствующих политических решений, а также наличия необходимого научного потенциала и технологий.

Агентство по экологической экспертизе Нидерландов предложило три возможных сценария использования потенциала биомассы до 2050 г. – высокий, средний и низкий, реализация которых будет зависеть от таких факторов, как задействование сельскохозяйственных земель для выращивания технических культур, использование отходов и мусора, рыночный спрос. При этом для стран Евросоюза делается прогноз в пользу среднего сценария с оговоркой, что в конечном счете ЕС будет зависеть от внешних источников поступления биомассы.

Голландские исследователи считают, что к 2030 г. за счет биомассы может быть обеспечено до 10% биоориентированной экономики. Более высокое потребление способно привести к чрезмерной эксплуатации природных ресурсов. В период между 2030 и 2050 гг. возможно появле-

ние новых технологий, которые сделают ныне мало используемое биосырье доступным. Прежде всего это касается огромных ресурсов Мирового океана, в частности водорослей.

Одной из стран, достигших в последние годы значительных успехов в области использования своего биопотенциала, являются США. Согласно публикуемым там оценкам, Соединенные Штаты способны производить в год до 1 млрд т сухой биомассы в год. Такой объем может позволить заменить порядка 30% бензинового топлива на возобновляемое биотопливо. Однако в настоящее время американцы используют в год только 365 млн т совокупного биосырья, получаемого за счет сельского и лесного хозяйства, а также переработки мусора в целях производства биотоплива и других материалов на биооснове.

Согласно двум предложенным американскими экспертами сценариям, к 2030 г. потенциал сухой биомассы в США может достигать от 1,1 до 1,4 млрд т (рис. 2). При этом акцентируется географическая диверсификация различных источников биосырья в разных регионах США. Так, центральная и восточная части страны больше подходят для выращивания растительных культур, пригодных для производства биотоплива. Тогда как лесные массивы в основном сосредоточены на западе и севере США.

Одной из первых стран, начавших внедрять принципы биоэкономики и добившихся в этом существенных успехов, стала Япония. Во многом это связано с тем, что у нее весьма ограничены собственные запасы полезных ископаемых.

Оценка устойчивости биомассы. Понятие «устойчивость биомассы» исследователи связывают прежде всего с экологической устойчивостью, что означает соблюдение баланса между потреблением человеком биоресурсов планеты и сохранением ее экосистемы. В частности, речь идет о повторной переработке и использовании отходов и материалов в интересах биоэкономики. В более широком плане феномен устойчивости биомассы помимо экологического аспекта непосредственно связан также с социальной и экономической сферой.

Как и в ситуации с потенциалом биомассы, в отношении ее устойчивости нет общепризнанных критериев измерения и оценки. В некоторых случаях может использоваться метод оценки жизненного цикла (lifecycle assessment). Он предполагает оценку всех этапов производственного процесса от заготовки сырья до обработки материалов, производства, распространения, использования и утилизации. Это весьма востребовано, если речь идет об экологических аспектах. Однако данный метод не учитывает социальные и экономические нюансы, правильное понимание которых критически важно для принятия политических решений.

Еще один предлагаемый исследователями метод – «экологический след» (ecological footprint), предполагающий оценку меры воздействия человека на среду обитания. В глобальном масштабе экологический след указывает на то, насколько быстро человечество потребляет природный капитал. Но и он по большей части оставляет за скобками социально-экономическую компоненту.

Некоторые специалисты высказываются в пользу применения к проблеме подхода совокупной факторной производительности (total factor productivity), который подразумевает анализ факторов, влияющих на выпуск продукции. В самом общем смысле это определяется как отношение совокупного выпуска (в данном случае биомассы) к совокупным затратам (капитал, труд, материалы, энергия и услуги). Соответственно, чем выше затраты, тем ниже будет устойчивость биомассы, т. е. обратным коэффициентом устойчивости биомассы является ее стоимость.

Экспертам ОЭСР представляется необходимой выработка на международном уровне единых стандартов, критериев и методик для оценки потенциала биомассы с учетом всех ключевых аспектов, включая сохранение окружающей среды, экономическую целесообразность, рациональное использование сельскохозяйственных земель и т. д.

2. Биотехнологии и устойчивость биомассы

Биотехнологии, безотносительно того, идет ли речь о генной модификации или же нет, уже имеют огромное влияние на производство продуктов питания. Их значение неизбежно будет возрастать в будущем по

мере того, как население Земли продолжит увеличиваться, а запасы полезных ископаемых уменьшаться. Таким образом, потенциал для развития и применения биотехнологий поистине огромен. Это во многом имеет отношение к продукции аквакультуры, которая по сравнению с сельхозкультурами занимает весьма скромную нишу в плане поставки биомассы. По сути, морские биотехнологии и использование для этих целей ресурсов Мирового океана находятся сейчас в зачаточном состоянии, в то время как перераспределение производства биомассы в пользу «водных» источников позволило бы снизить нагрузку на сельхозугодия и высвободить их площади для выращивания продовольственных культур. При этом, безусловно, к вопросу эксплуатации ресурсов Мирового океана необходимо подходить крайне ответственно.

Одним из центральных и наиболее перспективных направлений в сфере биотехнологий является *геномика* – раздел молекулярной генетики, предметом которого является изучение генома и генов живых организмов. Во многом ее практическая деятельность связана с генной модификацией, т. е. искусственным изменением генотипа организма методами генной инженерии, а также синтетической биологией – проектированием и созданием биологических систем с заданными свойствами и функциями, в том числе и тех, которые не имеют аналогов в природе, – однако далеко не ограничивается ими.

Рост экономики в развитых и развивающихся странах начиная с 1960-х гг. привел к резкому увеличению потребления в них населением мясных и молочных продуктов. В период с 1970-х до середины 1990-х гг. потребление молока удвоилось, а мяса – почти утроилось. Соответственно, возникла острая потребность в новых способах наращивания производства этих видов пищевой продукции. С точки зрения биоэкономики такая тенденция носит негативный характер, поскольку ведет к нарастающему перераспределению биомассы и источников ее получения в продовольственных целях в ущерб «технологическим».

Растущий запрос на потребление мяса, в первую очередь в странах Азии, требует от производителей увеличения ресурсной базы, включая корма, воду, землю под пастбища. В целях снижения издержек при увеличении производительности фермеры охотно прибегают к инновационным

средствам геномики. Эти инструменты призваны обеспечить животных новыми качествами, такими как улучшенное качество мяса, устойчивость к болезням и адаптивность к неблагоприятному климату, кормоотдача и т. д. Другими словами, геномика дает возможность искусственно наделять животных так называемыми экономически целесообразными качествами (economically relevant traits).

Активно развиваются в животноводстве технологии искусственной репродукции. Речь идет не только об искусственном оплодотворении, но и о пересадке эмбрионов, оплодотворении *in vitro* с изменением свойств эмбриона. Таким образом, возможно при снижении издержек улучшать качество поголовья, причем обеспечить этим новым характеристикам наследственную передачу.

Некоторые государства реализуют соответствующие программы на государственном уровне. Например, правительство Ирландии на цели внедрения биотехнологий для разведения крупного рогатого скота выделило 300 млн евро на период 2015–2020 гг.

Биотехнологии все шире применяются также и в производстве молока и молочной продукции. Более того, именно благодаря геномике в молочной индустрии произошли поистине революционные изменения. Помимо селекции животных – производителей молока, стало возможным изменение свойств самого молочного сырья, включая состав бактерий и исключение из него патогенных форм, жирность, содержание протеина и т. д.

С учетом того, что мясо птицы, прежде всего курятина, является основным источником протеина для человечества, именно кур можно рассматривать как важнейший продовольственный продукт в контексте развития биоэкономики. За последние десятилетия благодаря селекционной работе удалось добиться существенного улучшения качества как куриного мяса, так и яиц. Более жесткие нормы продовольственной безопасности требуют снижения или полного отказа от использования в птицеводстве химических препаратов и антибиотиков, на смену которым должен прийти генетически закрепленный иммунитет птиц к различным заболеваниям. Эту, а также другие проблемы предстоит решить специалистам в области геномики.

Селекция позволила существенно улучшить такой показатель, как продуктивность кормления – соотношение килограмма корма к килограмму получаемого мяса. Технологии геномики способны развить эту тенденцию (рис. 3).

Поскольку селекция имеет кумулятивный эффект, внесение даже незначительных изменений в генотип животных может со временем принести огромную выгоду. В результате, использование одного и того же количества ресурсов обеспечит продовольствием большее число людей. Кроме того, более эффективное задействование земельных ресурсов при таком подходе позволит перераспределить их в пользу производства биомассы для промышленных нужд.

Потребление рыбы в мире с 1960 по 2012 г. выросло с 10 до 19 кг на одного человека в год, причем эта динамика продолжается. Порядка 20 тыс. видов рыбы используется в пищу, а ее общий экспорт за 1998–2008 гг. составил более 100 млрд долл. С точки зрения биоэкономики рыбные ресурсы представляют значительный интерес.

Вместе с тем такие факторы, как чрезмерный отлов рыбы, губительные способы лова, например траление, загрязнение Мирового океана, ведут к истощению запасов рыбы. Так, по оценкам Продовольственной и сельскохозяйственной организации, 90% промысловых видов дикой рыбы либо снижается, либо находится под угрозой сокращения популяции. Таким образом, остро встает вопрос возобновляемости рыбных ресурсов.

Данная ситуация подстегивает развитие *аквакультуры* – разведение и выращивание водных организмов в естественных и искусственных водоемах, а также на специально созданных морских плантациях. С 2007 по 2012 г. эта индустрия выросла на 33,5%, тогда как ловля дикой рыбы лишь на 0,6%. В 2012 г. за счет аквакультуры было получено 66,6 млн т рыбы по сравнению с 91,3 млн т промыслового лова. С учетом данного тренда неизбежно возникает вопрос поддержания баланса между требованиями экологической безопасности и задачей быстрого выращивания большого количества рыбы. И вновь на помощь здесь могут прийти биотехнологии.

Причем такие технологии возможно использовать не только при искусственном разведении аквакультур, но и при промышленном промысле. К примеру, более четверти всей добываемой в море рыбы ловится неселективно. Решением этой проблемы могло бы стать присвоение каждому виду рыб своего «ДНК штрих-кода» с внесением его в глобальную базу данных. Такая система «генетической паспортизации», с одной стороны, позволила бы производить целевой вылов рыбы, а с другой – бороться с ее незаконным промыслом и реализацией.

В перспективе до 2050 г. аквакультура будет способна обеспечить население недостающим объемом белка, но в основе ее развития должны лежать принципы экологической безопасности и применения современных технологий.

Производство аквакультуры ежегодно растет на 6–8%. На сегодняшний день объем морепродуктов, выращенных в искусственных условиях, приближается к объему, выловленному в естественной среде. И этот показатель постоянно увеличивается. Что касается географического распределения, то основная доля производства аквакультуры приходится на азиатский регион (порядка 90%). Например, потребность в рыбной продукции в Китае на 75% обеспечивается аквакультурой и только на 25% – выловом в морских акваториях. Однако в перерасчете на душу населения лидирует Европа. Так, если в Норвегии годовое производство аквакультуры составляет 172 т на человека в год, то в Китае – 6 т, а в Индии – только 2 т.

Среди основных видов рыбы, выращиваемых искусственно, лидируют тилапия (2,8 млн т, по данным ФАО за 2010 г., произведены преимущественно в странах Азии), а также атлантический лосось (1,5 млн т в 2010 г. с оборотом 7,8 млрд долл.). В 2014 г. учеными был полностью расшифрован геном лосося, что позволило значительно продвинуться в сфере селекции и геномики этой рыбы.

До 80% текущего объема производства продукции аквакультуры обеспечивается такими животными организмами, как травоядные и всеядные рыбы, а также моллюски.

Применяемые к морским видам биотехнологии уже внесли большой вклад в увеличение продуктивности, а также уменьшению использования лекарственных препаратов, прежде всего антибиотиков. Так, в Норвегии 99% лосося производится без применения антибиотиков. Однако в других странах, прежде всего развивающихся, практика применения лекарств по-прежнему широко распространена.

В качестве основных направлений работы геномики в сфере аквакультуры специалистам видится разведение однополых популяций, а также выработка устойчивости к различным заболеваниям. Генная модификация позволяет добиться ускоренного роста особей, что снижает затраты производителей. С 1993 по 2012 г. в США Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов проводило комплексное исследование относительно влияния генномодифицированного лосося на здоровье человека и окружающую среду. В итоге был сделан вывод о безопасности такой продукции. Таким образом, в 2015 г. лосось стал первым полученным при помощи генной инженерии животным, одобренным для продовольственного потребления.

С ростом населения Земли, которое к 2050 г. может достигнуть 9 млрд человек, все более острой становится проблема продовольственной безопасности человечества. Изменение климата, сокращение площади плодородных земель, растущая потребность в выращивании непродовольственных культур для промышленных целей – все это неизбежно ставит вопрос о более эффективном использовании земельных ресурсов и повышении урожайности.

Применение биотехнологий может помочь решить многие проблемы в области *растениеводства*. Среди них – устойчивость к вредителям, жаро- и засухоустойчивость, способность компенсировать нехватку азота в почве, регулирование роста, повышение урожайности и т. д.

Современная наука нацелена на получение новых сортов растений с необходимыми свойствами. Ведущиеся разработки можно условно разделить на несколько направлений. Увеличение урожайности – это главное направление интенсивного пути развития растениеводства, которое с успехом решается с применением биотехнологий.

Большое внимание уделяется получению новых сортов растений, устойчивых к различным факторам внешней среды: ветрам, холоду, жаре, засоленности или закисленности почвы, недостатку или избытку влаги и различных химических элементов почвы. Одной из приоритетных задач, решаемых с применением биотехнологий, является защита растений от различных биогенных факторов. Ведется борьба с различными вредителями – насекомыми, бактериями, вирусами, грибами. Например, можно встроить в геном растения ген бактерии, обеспечивающий синтез белка, ядовитого для насекомых, однако не являющегося патогенным для самого растения или человека.

Также немаловажной задачей является получение сортов растений, устойчивых к химическим гербицидам, инсектицидам и другим соединениям, которые могут оказывать вредное воздействие не только на сорные растения, но и накапливаться в сельскохозяйственных культурах.

После научных изысканий необходимо проведение тестирования полученного сорта растения на предмет безопасности по отношению к человеку и окружающей среде, затем следует внедрение новой технологии в промышленность. Этап тестирования разработки самый непростой. До запуска в промышленное производство необходимо неоднократно доказать, что разработанные растения не несут вреда человеку и окружающей среде. Для этого, как правило, проводится несколько независимых экспертиз, требующих достаточно больших расходов.

Таким образом, эксперты ОЭСР делают вывод, что биотехнологическая революция в продовольственной области уже началась и продолжается полным ходом. Это относится к таким ключевым показателям, как устойчивость к патогенам и кормоотдача, которые играют важнейшую роль в обеспечении продовольственной безопасности как в наши дни, так и в будущем.

Важный импульс реализации программ в сфере биотехнологий может придать их поддержка и стимулирование на государственном уровне. Генномика на основе селекции позволяет придавать животным и растениям желательные свойства без прибегания к генной модификации, что снимает озабоченность общественности возможными последствиями, которые могут оказать полученные сорта ГМО.

3. Биопереработка и ее финансирование

По определению Международного энергетического агентства (МЭА), биопереработка есть «устойчивый процесс превращения биомассы в различные рыночные продукты (продовольственные, кормовые, материальные, химические) и энергию (топливо, электро- и теплоэнергия)». В свою очередь, Министерство энергетики США дает следующее определение: «биопереработка – промышленная трансформация биомассы в иной продукт, представляющий ценность» (рис. 4).

В качестве биосырья для переработки могут выступать различные материалы, и наиболее распространенные среди них – технические сельскохозяйственные культуры. В качестве сырья используется также древесина и побочные продукты жизнедеятельности человека и животных (рис. 5).

В соответствии с классификацией МЭА выделяются четыре основных способа конверсии биосырья: биохимический (ферментация, энзимная конверсия), термохимический (газообразование, пиролиз), химический (кислотный гидролиз, обработка паром, этерификация) и механический (деление, сжатие, уменьшение размера). В результате биоконверсии получают жидкие энергетические продукты, но может также производиться газообразное и твердое топливо. Побочные продукты такого производства включают корма для животных и структурообразователи почвы.

Тип предприятия по биопереработке зависит как от используемого сырья и конечной продукции, так и от технологического процесса переработки. Одним из наиболее распространенных видов сырья является сахарный тростник. Лидирующие позиции в его переработке занимает Бразилия, где около 300 предприятий перерабатывают в среднем каждое до 2 млн т тростника в год. В качестве конечного продукта, помимо непосредственно сахара, они производят этанол, а также электроэнергию.

Другое активно используемое сырье – целлюлоза. Оно, как правило, бывает четырех видов: остаточный сельхозматериал (кукурузная солома, жмых сахарного тростника), специальные энергетические культуры, отходы деревообрабатывающей и бумажной промышленности, бумажный мусор.

Применяется также биопереработка древесины, где лидирующие позиции занимают скандинавские страны, прежде всего Норвегия, которая ежегодно таким способом производит 1500 т ванилина.

К твердым отходам, подвергающимся биопереработке, относятся органические осадки, образующиеся при очистке сточных вод, бытовые отходы, отходы горнодобывающей промышленности и сельского хозяйства. Органические осадки образуются при первичном отстаивании сточных вод и в системах биологической очистки (избыточный ил и биопленка). К твердым бытовым отходам относятся различные отходы человеческой деятельности (пищевые отходы, упаковка, мусор), вывозимые на свалки. В сельском хозяйстве твердым отходом является избыточная солома, не утилизируемая на корм скоту, а также подстилочная солома животноводческих ферм.

Весьма перспективным представляется использование в качестве биосырья микро- и макроводорослей. Прежде всего потому, что для их производства не требуется масштабных земельных угодий. Кроме того, они обладают большой скоростью роста и эффективностью преобразования солнечной энергии, могут выращиваться круглогодично и, наконец, обеспечивать производство значительно большего объема масла по сравнению с наземными растениями (таблица).

При этом эффективность производства биоэтанола из бурых водорослей в три раза выше, чем из сахарного тростника или свеклы, а получения биодизеля из микроводорослей – в 10 раз больше, чем из пальмового масла.

Мировое производство сырья из водных растений составило в 2008 г. 15,8 млн т, или 24,8% общего объема мировой аквакультуры, с объемом стоимости продукции 7,4 млрд долл. [2]. Доминируют в этом объеме макроскопические водоросли, являющиеся сырьем для получения таких веществ, как йод, алгин и каррагинаны, используемые в качестве добавок в кормлении животных и питании человека. Наиболее активно развивающейся областью исследования водорослей сейчас является выращивание видов, богатых липидами, которые нужны человеку в качестве компонента биологического топлива и кормов для животных. Водоросли являются также побочным продуктом очистки сточных вод при многих производственных процессах.

Промышленное производство микроскопических водорослей в виде цельных клеток или экстрактов требует экономически эффективной технологии производства водорослевой биомассы. К тому же партии такого продукта должны быть стабильными по качеству и производиться по биологически безопасной технологии, не допускающей их заражения вредными веществами. В настоящее время выращивание водорослей связано с рядом технических и логистических трудностей, которые еще предстоит решить.

Свалочный газ образуется в результате анаэробного разложения органических отходов (пищевые отходы, бумага и картон и т. д.). Его используют в качестве топлива для производства электроэнергии, тепла или пара либо как автомобильное топливо. Из 6 тыс. свалок, действующих в США, около 360 собирают и утилизируют свалочный газ. К 2025 г. американцы планируют получать 29 млрд кВт/ч электроэнергии ежегодно из бытового мусора и свалочного газа. В 2002 г. в Европе действовало 750 объектов по получению свалочного газа, всего в мире – 1152, общая мощность производства энергии — 3929 МВт, объем обрабатываемых отходов – 4548 млн т.

Биологическая очистка сточных вод, пожалуй, наиболее широко распространенный способ биопереработки. Тем не менее в развивающихся странах от 70 до 90% промышленных сбросов попадает в природу без очистки. Помимо непосредственно чистой воды при помощи биотехнологий возможно получение за счет сточных вод электроэнергии, а также различных минеральных и химических веществ. В процессе анаэробного разложения осадков сточных вод генерируется метан (биогаз), который используется для получения электроэнергии.

По оценкам специалистов, в перспективе предприятия, занимающиеся биопереработкой, должны уйти от узкой специализации и переключиться на «интегрированный» принцип работы, в основе которого лежит применение как химического, так и биологического способов конверсии различных видов биосырья для получения широкой номенклатуры продукции пищевой и химической промышленности, а также энергетики. Создание такого унифицированного производственного цикла пока связано с рядом сложностей, но у него есть немало неоспоримых преимуществ, таких как отсутствие зависимости от одного вида сырья, возможность переключе-

чатся на выпуск различной продукции в соответствии с запросами рынка, снижение издержек и повышение производительности.

Как отмечают эксперты ОЭСР, сфера биопереработки по-прежнему является довольно рискованной для инвестиций. Прежде всего это связано с тем, что развитие данной отрасли, как правило, напрямую зависит от принимаемых правительствами политических решений, которые делаются в контексте таких глобальных вызовов, как изменение климата, энергетическая безопасность и истощение ископаемых ресурсов. К примеру, в США область биопереработки курируют два ведомства – Министерство сельского хозяйства и Министерство энергетики, которые осуществляют ее финансирование посредством гарантий по займу (loan guarantees).

В целях отработки производственного цикла и избежания лишних расходов, связанных с возможными техническими и логистическими сбоями, процесс переработки, как правило, проходит предварительную «обкатку» сначала в виде пилотного проекта, а затем на небольших демонстрационных объектах. И лишь после оптимизации технических и коммерческих аспектов (включая запрос рынка на изготавливаемую продукцию) производство переводится на полномасштабный промышленный уровень и осуществляется на крупных предприятиях. Понятно, что последние два этапа требуют существенных капиталовложений по сравнению с начальными исследовательскими работами, в том числе за счет привлечения частного сектора.

Именно на государственно-частное партнерство сделал ставку ЕС в развитии своей биоперерабатывающей индустрии. Соответствующая программа (European Horizon 2020) по поддержке инноваций и исследований в сфере биоэкономики была запущена в 2014 г. с бюджетом 3,7 млрд евро до 2020 г., из них 975 млн евро выделяются государствами – членами Евросоюза, а 2,7 млрд евро привлекаются за счет частных инвестиций (рис. 6).

По мнению исследователей ОЭСР, прямое финансирование обладает рядом преимуществ по сравнению с банковскими займами, которые накладывают ряд жестких ограничений и несут для заемщика определенные финансовые риски. Для снижения таких рисков в США используется механизм целевых грантов, призванных обеспечить гарантии по займу. Так, для целей сооружения биоперерабатывающих и производящих биопroduкцию

предприятий правительство США, как правило, предоставляет гарантии по займу сроком на 20 лет. При этом в соответствии с американским законодательством такие предприятия обязуются производить определенный объем биотоплива второго поколения (advanced biofuel).

В ЕС также существует программа займов в интересах исследовательских и инновационных проектов (InnovFin – EU Finance for Innovators), предусматривающая предоставление гарантий под прямые займы (совокупный объем 24 млрд евро) для новаторских промышленных проектов, в том числе относящихся к сфере биоэкономики.

Основная трудность заключается в том, чтобы результаты научных исследований и разработок были материализованы и воплотились в конкретный рыночный продукт, приносящий прибыль. В целях преодоления межсекторального барьера в ЕС в 2014 г. была запущена Инициатива по поощрению отраслей производства в сфере биотехнологий (Bio-based Industries Initiative). Она призвана содействовать наведению мостов между различными отраслями на всех этапах производственной цепи, а также создавать новые цепочки (рис. 7).

Одной из стратегических целей, которую ставят перед собой европейцы – повышение практической пользы от биотехнологий, что требует оптимизации производства и конверсии биомассы, а также снижение стоимости изготовления продукции и ее конкурентоспособность. Отдельным пунктом стоит задача по внедрению в процесс биопереработки инновационных «зеленых» технологий, таких как использование солнечной и ветряной энергии, которые пока не имеют широкого применения. В ЕС считают необходимым повышение экологических стандартов производства биомассы и ее переработки, и прежде всего снижение сопутствующего этим процессам выделения парниковых газов.

В качестве сырья для переработки могут использоваться биоотходы различного происхождения. В том числе – отходы сельхоздеятельности, такие как солома, навоз и ил, отходы мясопереработки, включая жир, отходы деревообработки в виде стружки и опилок, выбросы промышленных газов, прежде всего оксида и диоксида углерода, а также органическая составляющая твердых бытовых отходов, в основном пищевые отходы.

Переработка биоотходов в целях получения продукта или энергии имеет ряд преимуществ по сравнению с использованием для этого специально выращиваемых сельскохозяйственных культур. Во-первых, этот метод не требует использования сельхозземель. Соответственно, решается проблема соблюдения баланса продовольствие – топливо в использовании земельных ресурсов. Кроме того, решается проблема утилизации мусора, что чрезвычайно важно с экологической точки зрения.

Переработка биоотходов активно практикуется европейскими компаниями. В странах ЕС действует строгое законодательство в отношении наземных свалок, что стимулирует бизнес к переработке мусора. Так, европейцы используют газ метан, выделяемый при гниении биомусора, а получаемый компост затем поставляется сельхозпредприятиям. Сжигание мусора стало одним из направлений энергетики. В качестве примера можно привести мусоросжигательные заводы в Иври-сюр-Сен под Парижем, где ежегодно уничтожают 600 тыс. т отходов. В результате во Франции сжигание мусора заняло второе место по выработке энергии в балансе возобновляемых источников.

Мусор приносит не только деньги, но и рабочие места. Так, в США, где ежегодно производится более 250 млн т бытового мусора в сфере его сбора и утилизации работают около полутора миллиона человек, действуют порядка 56 тыс. предприятий, годовой оборот которых составляет почти 240 млрд долл. В Европе работников «мусорной сферы» примерно столько же.

По подсчетам экспертов, совокупное производство газа CO₂ промышленными и энергетическими предприятиями в мире составляет свыше 7,5 млн т в год. Однако лишь незначительная часть этого объема используется для получения вторичной продукции.

Примерно такая же ситуация и с использованием отходов растениеводства, которые в основном не идут на переработку (рис. 8).

В целом же, по оценкам, ежегодно в мире производится свыше 3,5 млрд т вторичной биомассы, из них порядка 900 млн т – в Европе. Из этого количества около 223–225 млн т может быть использовано для по-

лучения биотоплива, что равноценно 12% общего объема топлива, потребляемого автотранспортом ежегодно (рис. 9).

Для стимулирования экологических программ применяется такой долговой инструмент, как «зеленые облигации» (green bounds). Их отличительной чертой является то, что привлеченные средства используются для проектов, связанных с возобновляемой энергией, повышением энергоэффективности, экологически чистым транспортом или низкоуглеродной экономикой. В эмиссии «зеленых облигаций» участвуют ведущие американские и европейские банки, такие как Bank of America, Merrill Lynch, Citibank, JPMorgan, Deutsche Bank, Goldman Sachs, HSBC, Morgan Stanley и др. Кроме того, ряд государств (Австралия, Британия, Малайзия, США, Франция, Швейцария, Япония) учредил государственные инвестиционные «зеленые» банки для поощрения частных инвестиций в устойчивую к изменению климата и низкоуглеродную инфраструктуру.

По оценкам экспертов ОЭСР, для дальнейшего успешного развития биоперерабатывающей отрасли необходим ряд условий, таких как стабильная стоимость биосырья и снижение капитальных издержек, которые в совокупности составляют до 70% стоимости конечного продукта. Кроме того, инвестиционная привлекательность во многом определяется политической средой и степенью поддержки соответствующих программ со стороны государственных и общественных институтов.

4. Основные тенденции в сфере производства биоматериалов

В современной промышленности доминируют нефтепродукты и их производные, а также различные химические соединения. Может ли такое положение вещей быть изменено и способен ли биоматериал заменить традиционное сырье? В последние годы в различных странах предпринимаются активные усилия по переводу транспорта на альтернативные виды топлива, включая электроэнергию и биотопливо. Если электродвигатели все более активно используются в автомобилестроении (например, американской компанией Tesla), то для авиации и судостроения вариант широкого использования электроэнергии в качестве движущей силы пока неприменим. Тем не менее в целях уменьшения вредных выбросов поряд-

ка 20 авиакомпаний, таких как KLM, United Airlines, реализуют программы заправки своих самолетов биотопливом на спиртовой основе.

Производство примерно 96% всех товаров требует использования по крайней мере одного химического или нефтехимического элемента, и найти им замену в виде биоматериалов весьма сложно. Кроме того, мировая химическая промышленность потребляет около 10% всей вырабатываемой электроэнергии и является третьим после металлургической и цементной отрасли эмитентом вредных выбросов. Одно из главных производных нефтехимической промышленности – пластик и продукция из него (рис. 10). С учетом такой динамики годовое потребление пластика может вырасти в четыре раза к 2050 г.

Для производства пластика используется примерно 8% от общего объема добываемой нефти: 4% в качестве сырья и еще 4% для выработки энергии. К середине нынешнего века этот показатель может составить около 30%.

Возобновляемое сырье может послужить полным аналогом или эквивалентом для производства различной продукции, где сейчас применяются химические компоненты. Используемые для этих целей биотехнологии появились относительно недавно – в середине 1990-х гг., когда начала развиваться *метаболическая инженерия* (methabolic engineering), которая занимается конструированием новых организмов и систем с направленными измененными метаболическими превращениями субстратов в целевые продукты. Цель метаболической инженерии – использование этих организмов для получения ценных веществ в промышленном масштабе. Применение данного метода позволяет получить до 130 тыс. видов биохимических реакций (рис. 11).

Следует учитывать, что использование метаболической инженерии для получения различных веществ находится на разных научно-производственных стадиях. Вполне вероятно, что некоторые вещества в итоге так и не будут производиться данным методом в промышленных объемах, прежде всего в силу экономической нецелесообразности. К примеру, по оценкам IRENA/ESTAP, этиловый спирт на биооснове в среднем на 50% дороже этилена, полученного путем парового крекинга. По данным

Министерства энергетики США, в настоящее время наиболее востребованы следующие 12 соединений, получаемые из биосырья: 1,4-дикислоты (особенно янтарная, фумаровая, яблочная), 3-гидроксипропановая кислота, леулиновая кислота, глютаминовая кислота, сорбит, аспарагиновая кислота, глюкариновая кислота, итаконовая кислота, глицерин, ксилит/арабинит, дикарбоновая кислота.

Еще одна новая биотехнология – *синтетическая биология* (synthetic biology), научное направление в биологии, занимающееся проектированием и созданием биологических систем с заданными свойствами и функциями, в том числе и тех, которые не имеют аналогов в природе. В перспективе это направление позволяет получать биотопливо из водорослей, производить бактериальное электричество, синтетические вакцины, повысить продуктивность и устойчивость культивируемых растений и животных.

Все шире применяются в промышленности *биокаatalиз* и *биотрансформация*, являющиеся процессами химического превращения одного или более веществ, которые протекают под действием катализаторов – ферментов, применяемых в очищенном виде или в составе клеток микроорганизмов либо изолированных животных или растительных клеток. При этом биотрансформация – это химическое превращение уже в основном сформированного химического соединения под влиянием ферментов. При биокаatalизе же возможен синтез нового вещества из различных по структуре реагентов или разложение сложного вещества под действием ферментов. Объединяет их прежде всего использование специфических катализаторов – молекул фермента, имеющих белковую природу.

Наиболее экономически перспективным считается способ, при котором используется только один вид биокаatalизатора (фермента). Он получил в западной литературе название «консолидированная биотрансформация» (consolidated bioprocessing).

Ежегодно увеличивается производство биопластиков – пластика на основе возобновляемых источников биомассы, таких как растительные жиры и масла, крахмал или микробиоматерия. Данный вид пластмасс появился сравнительно недавно и пока занимает незначительную часть на

рынке (около 4,16 млн т по состоянию на 2016 г., или 1% всего рынка). Всего создано порядка 20 видов соответствующих полимеров.

В последнее время на рынок стали поступать биоаналоги термопластов, таких как полиэтилен, полипропилен, полиэтилентерефталат. По своим характеристикам эти материалы могут быть отнесены к биопластикам. Они не уступают по качеству продукции, полученной из нефтепродуктов, и могут перерабатываться в рамках существующей системы рециклинга.

В настоящее время имеются технические сложности в том, что касается задействования биотехнологий для получения аналогов такой группы веществ, как ароматические соединения (арены), в отношении которых имеются самые широкие возможности практического использования. Тем не менее ведутся научно-технические изыскания в данном направлении, прежде всего с использованием лигнина в качестве исходного сырья.

Согласно докладу Европейской комиссии, в настоящее время в ЕС 90 химических предприятий, использующих биотехнологии, достигли по меньшей мере третьего уровня по шкале от 1 до 9 уровней готовности технологии (technology readiness level), из них восьмого уровня (окончание разработки и испытание системы в условиях эксплуатации) – 31, а девятого (демонстрация технологии в окончательном виде) – только три.

В целом аналитики ОЭСР делают вывод, что объем и количество наименований выпускаемой продукции на основе биоматериала имеет устойчивую тенденцию к росту, прежде всего – в развитых странах мира, где разработаны и осуществляются соответствующие долгосрочные программы, а также налажено государственно-частное партнерство в данной области. Проводится соответствующая работа с общественным мнением, в результате которой употреблять «зеленую» продукцию, произведенную из биосырья, становится модным. Тем не менее биопродукция пока занимает довольно скромную нишу на рынке по сравнению с аналогами, произведенными из нефтехимического сырья. Это обусловлено как техническими, так и экономическими трудностями, которые еще предстоит решить в долгосрочной перспективе.

Политика в области биоматериалов. По оценкам экспертов ОЭСР, в настоящее время сфера производства продуктов и материалов из биологиче-

ского сырья не имеет достаточной политической поддержки и консолидированной концепции развития. Зачастую такое внимание ограничивается программами исследований и разработок, в отличие от индустрии производства биотоплива и биоэнергии, которым уделяется значительно больше внимания как со стороны государства, так и коммерческих операторов.

Тем не менее в стратегическом плане специалистам представляется необходимым выработать модель интегрированных биопредприятий (integrated biorefineries), где совмещалась бы переработка биосырья с выпуском на его основе продукции, энергии и топлива. Это позволит значительно снизить издержки, повысить производительность и создать дополнительные рабочие места.

В целом же целью политики в сфере производства биоматериалов, как считают эксперты, является выработка мер поддержки этой отрасли при снижении отрицательного воздействия на окружающую среду. Другими словами, обеспечить рост объемов производства при снижении сопутствующих вредных выбросов.

В то время как биотопливо бывает лишь нескольких видов, количество биохимической продукции превышает 70 тыс. наименований. Соответственно, представляется проблематичным выработать единую политику, определяющую общие схемы для данной индустрии. Кроме того, соответствующие предприятия находятся на разных уровнях готовности технологии, которые требуют разных подходов.

Таким образом, обозначенная политика должна быть достаточно гибкой. Тем не менее ее стержневым моментом должно стать сочетание принципов индустриального развития с задачами «зеленого роста» (green growth policy). Она также должна поощрять эксперименты и научные изыскания для выработки инновационных технологий и методов производства в интересах замещения традиционного сырья на альтернативное биологическое. Еще одна цель такой политики – установление допустимого уровня парниковых выбросов для соответствующих производств по аналогии с подобными планками, уже применяемыми для биотоплива.

Важной задачей также является обеспечение конкурентоспособности биопредприятий на рынке, где они пока не могут соревноваться с нефте-химическими гигантами. Государство здесь имеет возможность оказывать прямую поддержку посредством различных стимулирующих механизмов, таких как налоговые послабления и предоставление льготных займов и грантов. Могут использоваться и другие формы взаимодействия государства и бизнеса для стимулирования производства биоматериалов на взаимовыгодных условиях.

Образование и тренинг в сфере промышленных биотехнологий. Производство с использованием биологических материалов является высокотехнологичной отраслью и требует широкого круга междисциплинарных знаний и навыков. Ключевой дисциплиной здесь является микробиология. Однако специалисты в данной области сейчас должны также обладать глубокими знаниями химии – как органической, так и неорганической, – генетики, программирования, информатики, высшей математики и физики. Кроме того, для эффективной работы помимо точных наук в прикладном плане необходимо изучение экономики, системного анализа, стратегического планирования, социологии и экологии, системы оценки рисков, основ биобезопасности и т. д.

Симбиозом ученого-биолога и инженера является такое перспективное направление, как биоинженерия – отрасль науки и техники, развивающая применение инженерных принципов в биологии и медицине. Биоинженерия – это применение понятий и методов биологии (а также физики, химии, математики и информатики) для решения актуальных проблем, связанных с науками о живых организмах, с использованием аналитических и синтетических методологий инженерного дела. В то время как традиционное инженерное дело применяет физику и математику для анализа, проектирования и изготовления неживых инструментов, структур и процессов, биологическая инженерия использует в основном быстро развивающуюся сферу молекулярной биологии для изучения и развития применения живых организмов.

На стыке дисциплин находятся также биохимическая и геномная инженерия, синтетическая биология.

Аналитиками ОЭСР отмечается важность обеспечения связи между теоретическими исследованиями и лабораторными испытаниями в области биотехнологий с практическим применением их результатов и внедрением в систему экономических отношений. Другими словами, необходимо выстраивать научно-производственные цепочки от академических институтов до непосредственно конвейера промышленных предприятий.

Пока в мире относительно немного специализированных учебных заведений, готовящих специалистов в области промышленных биотехнологий. Одно из них – Центр биовозобновляемой химической продукции (Center for Biorenewable Chemicals) при Национальном научном фонде США, организованный в 2008 г. государственным Университетом Айовы. Заявленная им основная задача – продвижение исследовательских и образовательных программ в интересах трансформации промышленного производства от технологий, основанных на нефтесырье, в сторону использования возобновляемых источников.

В Канаде Университет Оттавы предлагает программу подготовки в области биотехнологий на базе факультетов биохимии и химической инженерии. В другом канадском вузе – Гуэлфском университете преподается курс биологической инженерии, включающий помимо фундаментальной биологии биосистемный анализ, биомеханику, дискретное управление.

Кроме того, в некоторых странах существуют центры профессиональной подготовки, которые предоставляют специальное оборудование для проведения практического тренинга персонала, занятого в биопроизводстве. К примеру, такой центр есть в Ирландии (National Institute for Bioprocessing Research and Training). Основное его направление – биотехнологии в сфере фармацевтики. При этом тренинги проводятся для всех специальностей – начиная с операторов оборудования и заканчивая руководителями старшего звена.

Отдельным перспективным направлением, которое пока мало освоено, является подготовка управляющих кадров и бизнес-администраторов в сфере биотехнологий (biotechnology business management). Пока, как правило, профильные образовательные программы ограничиваются краткосрочными курсами и спецсеминарами.

Особого подхода требует и подготовка квалифицированных рабочих и техников в сфере промышленных биотехнологий. Как правило, повышением их квалификации занимается само предприятие, на котором они работают. Однако существуют и специализированные учебные заведения, готовящие профильных технических специалистов. К примеру – Инновационный центр промышленных биотехнологий (Industrial Biotechnology Innovation Centre) в Шотландии.

Приложение

Рисунок 1. Основные направления поставок биомассы: 2011

Рисунок 2. Потенциал биомассы по базовому и оптимистичному сценариям

Рисунок 3. Селекционная работа в целях роста производства мяса кур и более эффективного расходования кормов

Уровень расхода корма за 30 лет
для выращивания бройлеров
в течение 42 дней

Количество корма для выращивания
курицы весом 2,5 кг за 42 дня

Рисунок 4. **Базовая схема биопереработки**

Рисунок 5. Процессы конверсии в топливной биопереработке

Примечание. ТБО – твердые бытовые отходы.

Рисунок 6. Сравнение целевых подходов в финансировании исследовательских работ в разных странах

Примечание. РП-7 – Седьмая Рамочная программа ЕС.

Рисунок 7. **Производственная цепочка в биоэкономике**

Рисунок 8. Примерный объем лигноцеллюлозного сырья для биопроизводства в мире
(миллионы тонн)

Рисунок 9. Потенциал биоотходов в странах Евросоюза

Рисунок 10. **Потребление пластика в мире**

Примечание. СГТР – совокупный годовой темп роста.

Рисунок 11. **Химические вещества, получаемые при помощи метаболической инженерии**

Примечание. ПЭТ – полиэтилентерефталат, ПВХ – поливинилхлорид, ПДО – пропандиол (пропиленгликоль), БДО – бутандиол.

Таблица. **Объем получаемого масла из наземных растений
в сравнении с водорослями**

Культура	Объем получаемого масла, <i>галлон/акр</i>
Кукуруза	18
Хлопок	35
Соевые бобы	48
Горчица	61
Подсолнечник	102
Рапс	127
Ятрофа	202
Пальмовое масло	635
Водоросли	10 000

Обзор выполнен на основе следующих публикаций:

1. OECD (2018), *Meeting Policy Challenges for a Sustainable Bioeconomy*, OECD Publishing, Paris. – <http://dx.doi.org/10.1787/9789264292345-en>
2. FAO and WHO (2010), *World Review of Fisheries and Aquaculture*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, and World Health Organization, Geneva. – www.fao.org/docrep/013/i1820e/i1820e01.pdf

Аэронавтика и космос

Биотехнологии и генетика. Сельское хозяйство, пищевая и химическая промышленность

Информационные и телекоммуникационные технологии и вычислительная техника

Исследования в области ядерной и квантовой физики

Медицинские технологии и оборудование

Нанотехнологии и новые материалы, микроэлектроника

Социальные и экономические науки и статистика

Энергетика и транспорт

Экология и рациональное природопользование