

Эволюция биоэнергетики. ВРЕМЯ ВОДОРОСЛЕЙ

Илья Моисеев, академик Российской академии наук

Вадим Тарасов, директор по международному сотрудничеству Ассоциации «АСПЕКТ»

Лев Трусов, генеральный директор Ассоциации «АСПЕКТ»

Развитие технологий подчиняется законам инновационных циклов, когда за одним технологическим решением следует новое — открывающее новые горизонты. Историками науки давно отмечено, что важны не только новации, но и временные лаги между их появлением. Накануне революционных прорывов в той или иной области технологий эти интервалы сокращаются, а затем идеи и процессы возникают лавинообразно.

В период, далекий от возникновения большой нефтехимии, интервалы между появлением важнейших полимеров исчислялись десятилетиями (нитроцеллюлоза появилась в 1869 г., бакелит — в 1908, поливинилацетат — в 1919), а в преддверии нефтехимии интервалы резко сократились (полиакрилаты — 1931, поли-

винилхлорид — 1936, нейлон и полистирол — 1942, эпоксины 1947).

В области технологии моторных топлив похожие процессы наблюдались с 30-х годов прошлого века, когда В. Н. Ипатьев открыл процесс алкилирования углеводородов, были найдены алюмосиликатные, а затем и цеолитные катализаторы крекинга и изомеризации алканов, обнаружены реакции дегидроциклизации и ароматизации алифатических углеводородов, разработаны технологии платформинга и ренийформинга. Эти катализаторы и процессы, в создание которых выдающийся вклад внесли наши соотечественники Б. А. Казанский, Б. Л. Молдавский, А. Ф. Платэ, Х. М. Миначев и их ученики, лежат в основе современной индустрии моторных топлив, являются ее доминантой.

Эти технологии появились не на пустом месте, а явились результатом фундаментальных поисковых исследований, некоторые из которых проводились в достаточно короткие сроки (2–4 года), затем признавались неэффективными и отбрасывались. Революционному прорыву и появлению производства моторных топлив из нефти, основы которого используются по сей день, предшествовала итерационная процедура, наполненная трудом, увлеченностью и очень часто — разочарованиями.

Такая же короткоцикловая эволюция наблюдается и в развитии технологий получения моторных топлив из возобновляемого сырья — биомассы. На первом этапе усилия концентрировались на совершенствовании технологии этанола из пищевого сырья, затем биоэтанола и биобутанола из непищевого лигноцеллюлозного сырья и т. д. Тем временем, пришло осознание того, что спирты, в существующих двигателях, можно использовать только в качестве добавок к традиционному топливу, но не заменить его полностью. Попытки укомплектовать топливную базу за счет спиртов, так или иначе, оказались, для большинства стран, не эффективны технически и экономически, как из-за необходимости государственных дотаций на производство биотоплива, модификацию двигателей и

Водоросли (лат. Algae) — гетерогенная экологическая группа преимущественно фототрофных одноклеточных, колониальных или многоклеточных организмов, объединенных по признаку наличия хлорофилла и фотоавтотрофного питания, обитающих, как правило, в водной среде.

Вопреки расхожему мнению о том, что наземная флора является основным источником кислорода и «легкими» планеты, именно мировой океан и, во многом, благодаря водорослям, производит больше половины кислорода на Земле.

В то же время, выращивание водорослей и их переработка — экономически эффективный способ получения горючего и разнообразного химического сырья из загрязняющих атмосферу планеты выбросов углекислого газа.

инфраструктуры, так и из-за недостаточной теплотворной способности спиртов.

Параллельно с развитием промышленности топливного этанола были предприняты попытки создать сектор производства дизельного топлива из растительного масла, преимущественно — на основе рапса. Однако низкая урожайность этой культуры оказалась непреодолимым препятствием.

Сегодня человечество является свидетелем новой революции в области получения из непищевого возобновляемого сырья топлив, практически не отличающихся по свойствам от традиционных и способных заменить их. Такое топливо не потребует дорогостоящей смены или переделки мирового парка двигателей, приспособленных для работы на топливе нефтяного происхождения. **Речь идет о создании промышленности традиционных моторных топлив на базе нового типа возобновляемого сырья.**

В качестве растительного сырья выведены водоросли. От растений, произрастающих на твердом грунте, они отличаются рядом преимуществ: высокой урожайностью, способностью развиваться в воде, а не на пахотной земле, которая может быть использована для выращивания других продовольственных культур, способностью потреблять промышленно значимые количества углекислоты с приемлемой для техники скоростью, наименьшим расходом воды на выращивание.

Одновременно с решением проблемы производства моторных топлив развитие технологий выращивания и переработки водорослей способно внести свой вклад в энергосбережение промышленных и энергогенерирующих предприятий, решая значительную часть их проблем с отходами и вредными выбросами, трансформируя эти выбросы в энергоносители.

Все растения, водоросли в том числе, растут, потребляя углекислоту и энергию солнечного излучения. Получаемые из биомассы энергоносители (спирты, пеллеты, компоненты моторных топлив — от дизельного до авиационного) можно складировать, хранить, транспортировать и использовать в нужном месте и в нужное время. Это отличает их, как аккумуляторы энергии, от многих других возобновляемых источников энергии (ветровой, солнечной, приливной или гидротермальной станций), которые дают возможность генерировать и использовать энергию только в месте нахождения соответствующей установки. Аккумуляция и передача энергии в этом случае представляют собой более сложную задачу.

Начало третьего тысячелетия совпало для человечества с тремя кризисами — экономическим, энергетическим и экологическим. Самым угрожающим мировому сообществу представляется экономический кризис, и все силы брошены на его преодоление. Тем временем, в условиях высоких цен на углеводородные энергоносители и неуклонно при-

ближающейся угрозы истощения их мировых запасов, отчетливо проявляется вторая угроза — кризис энергетический. В качестве основной тенденции развития топливного рынка международным экспертным сообществом заявлена именно биоэнергетика, которая должна стать фундаментом для начала новой эры энергетики. Независимо от того, как в действительности будут распределены мощности, очевидно, что в ближайшие 30–40 лет именно биоэнергетика станет доминирующим трендом в развитии мировой системы энергообеспечения.

Во второй половине XX века мир столкнулся с новой для себя экологической проблемой, которая может принять угрожающие формы. Выбросы углекислоты в атмосферу Земли ежегодно составляют до 8 млрд т, из них экосистемы Земли способны поглотить лишь половину. Оставшиеся 4 млрд т углекислоты накапливаются в атмосфере, и последствия такого накопления пока не ясны. Однозначно можно утверждать одно — столь грубое вмешательство в сложившуюся экосистему, когда нарушается экологическое равновесие, не останется безнаказанным для человечества. В целом же, для проблемы, обсуждаемой в этой статье, важным является другое: не нужно рассматривать углекислый газ как источник неприятностей, поскольку с помощью Солнца и микроводорослей его можно успешно использовать как полезное сырье для производства энергоносителей.

Осознав существующие угрозы, мировое сообщество наращивает темпы работ по поиску, разработке и использованию экономически эффективных и экологически безопасных энергосберегающих технологий. Все существующие и предлагаемые технологии энергозатратны, затраты на производство любых энергоносителей (в том числе — производимых из нефти) превышают их энергетическую ценность. Задача в каждом конкретном случае — из многих зол выбрать наименьшее.

Среди энергоносителей особое место принадлежит моторным топливам, круг использования которых очень широк: наземный, морской и авиационный транспорт, а также двигатели внутреннего сгорания, применяющиеся в других отраслях экономики.

Микроводоросли — одноклеточные «фабрики», преобразующие солнечную энергию и углекислый газ в биотопливо, продукты питания, корма и высокоценные биологически активные компоненты. Водоросли — самые быстрорастущие растения в мире, могут удваивать свою массу несколько раз в день. Содержат рекордное количество масла (до 80%), чему нет аналогов в растительном мире. Могут применяться для производства моторных топлив, не отличающихся от традиционных.

Таблица 1. Масличные культуры. Удельное содержание масла и энергии (среднее содержание энергии масла культур принято равным 35,5 кДж/г)

КУЛЬТУРА	Удельное содержание масла (л/га*год)	Удельное содержание энергии (МВт-ч/га)
Соя	446	4
Подсолнечник	952	9
Рапс/канола	1 190	11
Касторовые семена	1 413	13
Ятрофа	1 892	18
Кокосовые орехи	2 689	25
Пальмовое масло	5 950	55
Китайское сальное дерево	6 527	61
Водоросли (10 г/кв. м*сут при содержании триацилглицеридов 15%)	11 204	104
Водоросли (50 г/кв. м*сут при содержании триацилглицеридов 50%)	100 000	931

Где растет прибыль

Начиная с конца прошлого тысячелетия во всем мире проявляется самый активный интерес к биомассе как к источнику энергии. Есть ряд причин и движущих сил, которые подталкивают промышленность к использованию биомассы в топливной индустрии:

- устойчивое развитие: источник чистой и возобновляемой энергии;
- универсальность применения: энергетика, теплоснабжение, транспорт и так далее;
- энергетическая безопасность: диверсификация источников энергии, региональные источники;
- социальные выгоды: повышение качества жизни, облегчение социального развития и повышение социальной занятости;
- охрана окружающей среды: снижение выбросов парниковых газов, деградации земли, влияния источников, ведущих к изменению климата.

Условно биомассу как сырье для производства энергоносителей можно разделить на 3 вида:

- I Пищевые масло- и сахаросодержащие наземные растения.
- II Непищевые, целлюлозосодержащие растения.
- III Непищевые водные растения (водоросли).

Этические, социальные, экономические и технические аспекты сдерживают развитие производства энергоносителей из первых двух видов биомассы. И чем явственней эти проблемы, тем больший вес приобретает третий вид биомассы — водоросли. Поэтому мы сконцентрируемся на использовании водорослей для решения проблем энергоэффективности, энергоресурсосбережения и защиты окружающей среды. Это направление развития производства биоэнергоносителей, в первую очередь моторных топлив,

оказалось настолько перспективным, что эксперты связывают будущее биоэнергетики именно с водорослями, а именно одноклеточными формами (микроводорослями).

Энергонасыщенность. Сравнение масляных культур (табл. 1), показывает, что удельная энергетическая ценность водорослей с 50-процентным содержанием липидов (930 МВт*час/га) в 15,5 раза больше, чем у самой энергонасыщенной наземной масляной культуры — китайского сального дерева (60 МВт*час/га). Это ставит водоросли над остальными растениями, используемыми в виде сырья для производства моторных топлив.

Урожайность и производительность. Существуют водоросли (генетически модифицированные), способные удваивать свою массу несколько раз в день. Кроме того, в некоторых видах количество триглицеридов, основы растительного масла, составляет более половины массы.

Становится очевидно, что ни одно из существующих наземных растений не в состоянии конкурировать с водорослями по эффективности фотосинтеза, лежащего в основе урожайности и по содержанию масел и, соответственно, энергии в них.

Потенциал производства масла из различных культур характеризуется следующими показателями: «производительность» кукурузы составляет 172 литра на гектар в год, пальмового масла — 5950 литров на гектар, а типичных «энергетических» водорослей — уже до 95000 литров на гектар в год при выращивании в открытых водоемах.

На рис. 1 изображена картина замены всего нефтяного дизеля на дизель, произведенный из различных видов растительных культур. Так, для производства этого количества дизеля из хлопкового масла потребуются засеять всю поверхность Земли, включая водные пространства и полюса. А для выпуска такого же

объема дизеля из водорослей понадобится сектор, еле заметный на приведенной схеме.

Не менее наглядно преимущество водорослей иллюстрирует рис. 2, на котором сопоставляются площади поверхности США, необходимые для выращивания сои, кукурузы и водорослей, чтобы покрыть 50 % потребностей США в этом топливе.

Страсти по углекислому газу

Углекислый газ был и остается самым масштабным отходом промышленности.

Уже стало принято противопоставлять экологию и экономику: защита окружающей среды слишком дорого обходится промышленному потенциалу государства, говорят в кулуарах экономических форумов. Однако новые технологические разработки, в частности в области выращивания и переработки водорослей, позволяют утверждать обратное — защита окружающей среды может стать прибыльным бизнесом.

Вопросы утилизации техногенной эмиссии промышленных и энергетических производств давно занимают умы ученых. К сожалению, известные пути утилизации углекислого газа в качестве сырья для химической промышленности или вспомогательного материала в нефтедобыче оптимизма не внушают.

Например, углекислый газ пытались использовать при добыче нефти, а именно — закачивали в скважину CO₂, после чего выход нефти возрастал, нефть начала поступать также из соседних скважин. Правда, после этого углекислый газ улетучивался и вновь попадал в атмосферу. Косвенное применение углекислый газ нашел в производстве поликарбонатов, салициловой кислоты и других химических продуктов. Однако масштаб производства этих химикатов ничтожно

Рис. 1. Посевные площади для замены нефтяного дизеля на биодизель из различных культур

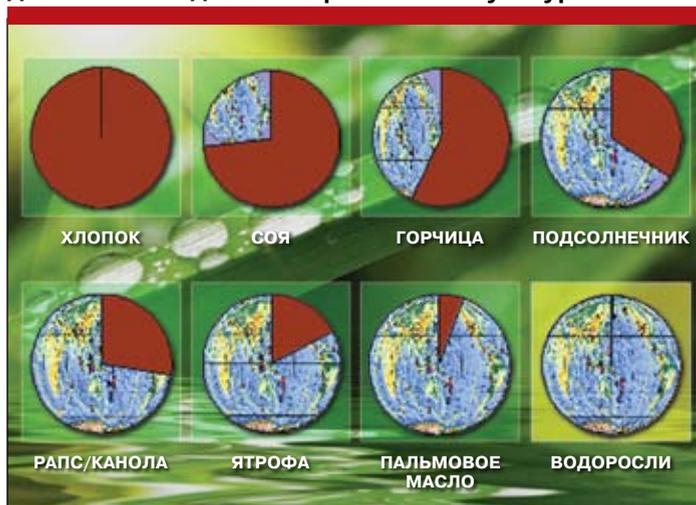
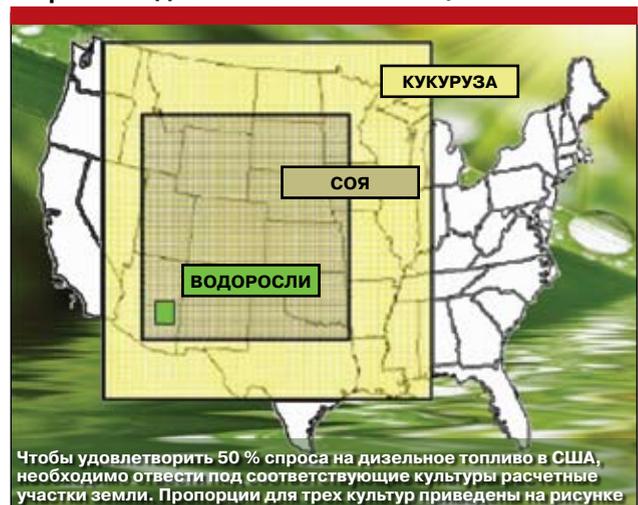


Рис. 2. Три сценария замены половины нефтяного дизеля на биотопливо, США 2022 г.



© Bryan et al., Shepton, 2008 г.

мал, не сопоставим с эмиссией, которая возникает в результате промышленного производства строительных материалов или энергии.

Водоросли в производстве энергоносителей превращают углекислый газ из проблемы в фактор прибыли. При этом CO₂ становится важнейшим ресурсом связанного углерода — ресурсом, который можно поставить на промышленную основу.

Почему водоросли?

Итак, из углекислоты с фотосинтетической эффективностью 5–10 % при минимальных затратах воды, на земле, непригодной для использования в сельскохозяйственных целях, можно получить либо биотопливо, либо сырье для химической промышленности.

Десять преимуществ водорослей:

1. Непищевая биомасса, ее использование для производства топлив не представляет угрозы продовольственной безопасности.
2. Растут в 20–30 раз быстрее наземных растений (некоторые виды могут удваивать свою массу несколько раз в сутки).
3. Производят в 15–100 раз больше масла с гектара, чем альтернативные рапс, пальмовое масло, соя или ятрофа.
4. Отсутствие твердой оболочки и, практически лигнина, технологически делает их переработку в жидкие топлива более простой и эффективной, чем переработка биомассы из любого наземного сырья.
5. Производство и использование биотоплива не требует изменения российского законодательства, как в случае с этанолом.
6. Растут в пресной, соленой воде или промышленных стоках, где используются для их очистки.

7. Можно выращивать промышленно в биореакторах или фотобиореакторах, освещаемых искусственными источниками света, либо в открытых резервуарах на некультивируемых почвах, включая пустыни.
8. Фотобиореакторы встраиваются в технологические линии уже существующих промышленных предприятий (ТЭЦ, нефтехимические производства, цементные заводы).
9. Уменьшают эмиссию углекислого газа (поглощают до 90% CO₂ с выделением кислорода).
10. Являются источниками масел, протеинов, углеводов.

Возможности применения:

- Производство моторных топлив (бензинов, дизельного и авиационного топлива).
- Использование для поглощения эмиссии углекислого газа промышленных и энергогенерирующих предприятий и его конверсии в моторные топлива и другие ценные продукты.
- При получении биоэтанола из полисахаридов (от крахмала до лигноцеллюлозного сырья) всегда образуется углекислота в количестве (по весу), равном количеству полученного спирта. Если встроить в технологическую схему производства спирта биореактор с водорослями, можно дополнительно получать биотоплива, максимально оптимизировав затраты.
- При анаэробной ферментации биомассы в некоторых процессах на 1 тонну полученного метана приходится чуть менее 3 тонн выброшенной в воздух углекислоты. При использовании в этом процессе водорослей, картина может значительно измениться — мы получим не только ценнейшее топливо — метан, как результат прямого процесса производства, но и дополнительное топливо из водорослей.

- При сжигании угля для получения энергии в атмосферу выбрасывается углекислый газ, который, изменив подход к процессу, можно направить в биореакторы с водорослями. Результат — экологическая и экономическая эффективность.
- Из высших жирных кислот, благодаря водорослям, можно получать продукты, которые на сегодняшний день производятся в нефтехимии из этилена ценой огромных затрат. Длинноцепочечные линейные молекулы могут быть превращены в альфа-спирты, альфа-олефины, полиакрилаты и первичные амины — продукты с высокой добавленной стоимостью.

Мировой опыт

Актуальность получения моторных топлив из биомассы у большинства стран не вызывает сомнений. Альтернативная энергетика стала одним из первых приоритетов новой администрации США, планирующей в рамках плана Обамы-Байдена «Новая энергия для Америки» потратить, несмотря на глубокий экономический кризис, 150 млрд долларов в течение 10 лет на развитие альтернативной энергетике, в которой преобладающее место занимает биоэнергетика, с целью использования 20 % моторного топлива из биомассы в общем топливном балансе страны к 2017 году.

Ни одно из наземных растений не в состоянии конкурировать с водорослями по содержанию масел и количеству энергии.

Этим же объясняется принятие и активная реализация национальных (Бразилия, США, Китай, Мексика и др.) и региональных (Европейское Сообщество) программ производства и использования биотоплива с целью замены на него традиционного углеводородного топлива.

Производство биотоплива из водорослей настолько многообещающе, что в США активно разрабатывается и до конца нынешнего 2009 года будет принята Национальная дорожная карта использования водорослей для производства биотоплив.

Кроме того, лавинообразно растет количество компаний и организаций, работающих в области переработки водорослей в энергоносители, насчитывавшее единицы в 2007 году и превышающее в наши дни более 200, с совокупным бюджетом, оцениваемым в 3,8 млрд долларов. В числе этих компаний есть предприятия, расположенные в близких к России климатических условиях — Бремене, Бостоне, Гамбурге, Хельсинки, Канаде. ▶



Лев Трусов, Илья Моисеев, Михаил Кирпичников, Елена Омарова, Алексей Дедов
На лекции «Фототрофные микроорганизмы», Москва, МГУ, 2009 г.

Пример узла отбора топочных газов электростанций приведен на рис. 3.

От трубы ТЭС через золоуловитель и теплообменник отводятся газы, которые поступают далее в биореактор, где собственно и растет биомасса — «суп» из водорослей. Фотобиореактор представляет из себя набор полиэтиленовых «штанов», расположенных таким образом, чтобы максимально использовать возможности дневного освещения.

Сбросное тепло ТЭС покрывает до 70 % необходимого для выращивания водорослей тепла.

Системы выращивания водорослей в разных компаниях значительно отличаются, что объясняется целым рядом особенностей — местоположением фотобиореакторов, климатическими условиями, свойствами используемых водорослей, параметрами выбранной технологии.

Фотобиореакторы представляют собой, как правило, весьма масштабные устройства, которые занимают значительные площади. Однако для эффективного фотосинтеза не требуются ни чрезмерное освещение, ни особенно теплые климатические условия. Биореакторы компании Algenol, например, располагаются в климатических условиях, соответствующих по температурам средней полосе России. Опыт применения вертикальных биореакторов высокой плотности в Канаде показывает, что освещенность и теплый климат не всегда являются доминирующим фактором для снижения себестоимости производства водорослевой биомассы. Опыт использования водорослей для производства биотоплива активно внедряется на Украине (компания «Биодизельнепр»).

Рис. 3. Система утилизации выбросов CO₂ ТЭС в Niederaussem (ФРГ)



Важно иметь в виду, что помимо больших стационарных реакторов существуют небольшие автономные и даже мобильные передвижные системы. Применение и использование мобильных фотобиореакторов — лишь вопрос эффективности. Например, в США создана установка по выращиванию водорослей и получению из нее дизельного топлива, размещенная в контейнере, для использования в вооруженных силах.

Российские перспективы

Россия настолько богата нефтью и газом, что источники возобновляемой энергии, хотя и применяются в отдельных специфических случаях и областях, таких например, как солнечные

батареи в космосе или ветряки на фермах, никогда серьезно не интересовали энергетиков. Это же полностью относится к биоэнергетике в целом и производству биоэнергетических в частности. Мы сжигаем огромное количество нефте-газопродуктов, которые в этом качестве могут быть успешно заменены биотопливами, а сами использованные гораздо более рационально и мудро для производства продуктов глубокого передела в продукты с высокой добавленной стоимостью (полимеры, удобрения, волокна).

К сожалению, мы значительно отстаем от Запада в разработке инновационных, современных технологий переработки биомассы наземного происхождения в жидкие энергоносители.



Пока это отставание не сказывается на возможностях быстрой разработки технологий производства биотоплив из водорослей. Из-за специфики морфологии и химического состава водорослей новые технологии достаточно просты в аппаратном оформлении и представляют собой ряд известных и отработанных в других отраслях химической и нефтехимической индустрии методов.

В России сложилась собственная научная школа в этой области, ряд отечественных разработок не отстает от западных, а некоторые научные коллективы предлагают ноу-хау и технологии, демонстрирующие лучшие показатели в сравнении с зарубежными аналогами.

Прогноз развития рынка дизельного топлива, произведенного из водорослей, отраженный на рис. 4, выглядит впечатляюще. Однако на сегодня стоимость триглицеридов значительно колеблется (от 3 до 44 долларов за галлон) в зависимости от культуры водорослей, способов взращивания, методов выделения, доли ручного труда и прочих факторов.

Технологический процесс производства моторных топлив из водорослей практически безотходен. После получения дизельного топлива сухие отходы биомассы сохраняют все витамины и ценные вещества, поэтому могут быть использованы как подкормка в рыбоводческих и животноводческих хозяйствах. Кроме того, возможно превращение отходов в еще один вид энергоносителей — топливные брикеты.

В итоге при рациональном подходе к вопросу возникает практически безотходное и экономически эффективное производство.

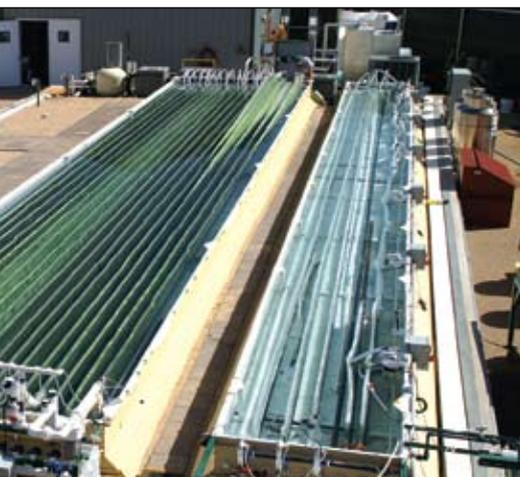


Рис. 4. Тренды продаж дизельного топлива в США



Планы на настоящее

Учитывая весь научно-технический потенциал при соответствующей координации усилий ученых, разработчиков и промышленности, а также при наличии финансирования может быть разработано новое поколение инновационных технологий переработки водорослей в моторные топлива, которые, будучи доведены до промышленного применения, обеспечат России выход на мировой уровень развития в области биоэнергетики в течение 2–2,5 лет и принесут значительный экономический эффект.

Что же дальше? Переводя сказанное в прикладную плоскость, оценим энергопрофицитность предлагаемых технологий на примере энергетического сектора российской экономики. Он вносит самый большой вклад в загрязнение окружающей среды в России. Предприятия этого сегмента выбрасывают в атмосферу около 400 млн т углекислого газа, что составляет 6 % мирового объема его эмиссии. Из них тепловые электростанции выбрасывают в атмосферу около 70 млн т углекислого газа.

Например, для московской ТЭЦ-21, вырабатывающей в год 9,1 млрд кВт*час электроэнергии, полное использование выбросов углекислого газа для выращивания водорослей позволит не только полностью исключить их эмиссию, что крайне благоприятно в условиях Москвы, но и произвести жидкие биоэнергоносители суммарной энергетической ценностью от 7,96 до 11,38 млрд кВт*час в год.

Приведенные примеры показывают, что использование моторных топлив из водорослей может внести значительный, сопоставимый с производством электроэнергии вклад. Иными словами, речь идет не об использовании смеси из «зеленого» и нефтяного топлива, а производстве точно таких же топлив, но из другого, возобновляемого сырья.

Прогноз развития новых энергосберегающих технологий для РФ делать сложно, поскольку неясно, какие государствен-

ные структуры могли бы инициировать подобные разработки и создание на их основе энергогенерирующих мощностей.

Тем временем, крупные российские ученые уже сегодня участвуют в выполнении таких проектов за рубежом. Существует серьезная государственная политическая и финансовая поддержка нового направления, в особенности в США, но что более важно, ведущие нефтяные и энергогенерирующие компании — Shell, BP, Chevron, Columbia Energy Partners — уделяют серьезное внимание новому направлению и первыми инвестируют в его развитие, осознавая неизбежность возникновения нового сектора рынка. Компании не хотят терять контроль над рынком моторных топлив, вне зависимости от того, производятся ли они из углеводородов или возобновляемой биомассы.

Согласно Акту энергетической независимости и безопасности, США планируют к 2022 году достичь производства биотоплив непищевого происхождения в объеме около 80 млн т/год. Принимая во внимание тенденцию роста доли биотоплив из водорослей в общем объеме производства «зеленых» топлив, можно полагать, что к 2022 г. она перешагнет порог в 50 %, что соответствует 40 млн т/год и составляет 43 % нынешнего потребления бензинов и дизельного топлива в России (около 92 млн т: 32 млн т — бензины, 60 млн т — дизельное топливо).

Существует ли в нашей стране концепция поддержки новых энергосберегающих технологий, зарождающихся в мире? Пока вопрос остается открытым. ■

Видеолекцию «Фототрофные микроорганизмы» академика И. И. Моисеева можно приобрести на веб-странице: www.master-multimedia.ru/lectures/lsm или по адресу MasterMultimedia@mail.ru

Лекция издана на оптических дисках в формате DivXR Ultra, содержит высококачественную видеозапись, интегрированные наглядные материалы и детальное оглавление. ООО «Мастер-Мультимедиа»