

## Энергетика и экология

УДК 620.95.003

### Биотопливо: pro et contra

В. С. Арутюнов

*ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ АРУТЮНОВ — доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией окисления углеводородов Института химической физики им. Н.Н. Семенова РАН (ИХФ РАН). Область научных интересов: кинетика газофазных реакций, окислительная конверсия углеводородных газов, экологические проблемы энергетики и транспорта, социологические проблемы науки.*

*119991 Москва, ул. Косыгина, 4, ИХФ РАН, тел. (495)939-72-87, факс (495)651-21-91,  
E-mail arutyunov@center.chph.ras.ru*

Мировая энергетика, почти на 90% зависящая от ископаемых энергоресурсов — нефти, угля и газа, проявляет явные признаки наступающего кризиса из-за быстрорастущего энергопотребления развивающихся стран и уже вполне реальной угрозы спада мировой добычи нефти. Ожидание кризиса вызвало во всем мире небывалый всплеск интереса к альтернативным источникам энергии, в первую очередь возобновляемым, способным обеспечить стабильное производство энергии в течение неопределенно долгого периода времени.

Однако довольно простые оценки, которые еще тридцать лет тому назад сделал П.Л. Капица [1], показывают призрачность надежд на возможность обеспечения современного уровня энергопотребления развитых стран для всего быстрорастущего населения Земли за счет возобновляемых источников энергии. Ведь все известные возобновляемые источники энергии, включая энергию ветра, гидроэнергию и энергию, накапливаемую в зеленой массе растений, имеют своим первичным источником солнечное излучение. Из-за низкой плотности потока энергии солнечного излучения на земной поверхности, всего около  $1 \text{ Вт/м}^2$ , получение сколько-нибудь значительных ее количеств, сопоставимых с потребностями мировой энергетике, требует громадных площадей в сотни тысяч квадратных километров. Это соответствует территории таких стран, как Франция. Решение этой задачи существующими и ожидаемыми в обозримом будущем техническими средствами (солнечные элементы) нереально хотя бы только по ресурсным соображениям.

Более реальной и дешевой альтернативой солнечной энергетике, основанной на технических средствах, является использование природных преобразователей солнечной энергии, т.е. зеленых растений. К сожалению, КПД преобразования солнечной энергии зелеными растениями крайне низок, всего порядка 1—2%. Даже у

наиболее высокоурожайных сельскохозяйственных культур, таких как кукуруза, он достигает лишь 5—7%, что значительно ниже, чем у искусственных фотопреобразователей (более 20%).

Иногда в качестве аргумента в пользу более широкого использования растительной массы в качестве «возобновляемого топлива» указывают на огромный объем биомассы в биосфере, около 800 млрд т. Но, во-первых, ее ежегодно возобновляемая часть составляет только 200 млрд т. А во-вторых, лишь несколько процентов от этого объема может быть изъято из природного оборота без угрозы глобального нарушения процессов в биосфере. Таким образом, энергосодержание той части биомассы, которая реально может быть использована в энергетике, существенно меньше мирового уровня потребления ископаемых энергоресурсов, составляющего почти 10 млрд т значительно более высококалорийного топлива.

По прогнозам, уже к 2030 г. уровень мирового энергопотребления достигнет почти 0,1% от энергии падающей на Землю солнечной радиации. С учетом низкого КПД ее преобразования зелеными растениями (~1%) и неизбежными потерями при последующем преобразовании в промышленные источники энергии, для полного удовлетворения за счет этого источника потребностей мировой энергетике потребовалось бы использование не менее 10% земной поверхности. Но согласно оценкам [2], человечество не нарушает равновесие биосферы до тех пор, пока поглощает менее 1% первичной продукции биоты. Уже сейчас потребление чистой первичной продукции биосферы, произведенной на суше, непосредственно в виде пищи, корма для животных и топлива превысило 10% и продолжает увеличиваться. Таким образом, с учетом реальных потерь, даже использование практически всей доступной продукции биосферы не сможет покрыть ближайшие энергетические

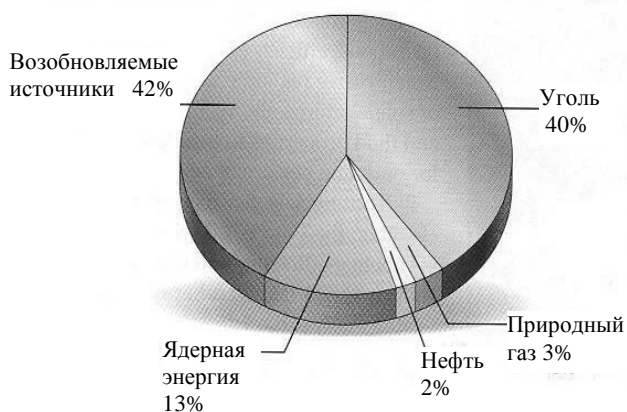


Рис. 1. Распределение средств в проекте федерального бюджета США на исследования в области энергетики в 2005 г. [4]:

Всего 766 млрд долларов

потребности человечества. Попытка реализации такого проекта приведет к гибели естественных экосистем и потере равновесия глобальных процессов в биосфере. Низкая плотность потока солнечной радиации на земной поверхности и низкий КПД преобразования этой энергии зелеными растениями перечеркивают все надежды на глобальную роль возобновляемой «зеленой» энергетики. Как показали результаты моделирования глобальных процессов развития цивилизации, при современном уровне энергопотребления развитых стран за счет возобновляемых источников энергии на Земле может существовать не более 500 млн человек [3], что в десять раз ниже уже достигнутой численности населения планеты.

Иногда указывают на то, что ископаемые топлива — уголь, нефть и частично газ сами имеют биологическое происхождение, т.е., строго говоря, тоже являются «биотопливом». Но существующие в земной коре ресурсы ископаемых топлив накапливались биосферой в течение примерно 300 млн лет, начиная с каменноугольного периода. Сейчас мировая энергетика в течение всего одного года расходует объем нефти, на образование которого природе понадобился примерно миллион лет. Пока именно этот «накопленный» ресурс обеспечивает столь интенсивное развитие экономики. Но отсюда же видно, что время его исчерпания не намного превысит два—три столетия, из которых полтора уже миновали.

Вызывает большие сомнения и часто выдвигаемый тезис об «экологической чистоте» возобновляемых источников энергии, например, растительной массы. Как правило, такие оценки не учитывают выбросы, образующиеся при производстве и обслуживании огромного и быстро выходящего из строя парка механизмов, обеспечивающих выращивание, сбор и переработку соответствующего объема растительной массы, а также сжигаемое при этом ископаемое топливо, т.е. мягко говоря, они некорректны.

О нереальности расчетов на значительный вклад возобновляемых источников в мировую энергетику



Рис. 2. Доля различных источников энергии в энергопотреблении США в 2003 г. [4]

свидетельствуют многолетние усилия наиболее передовой в области энергетики страны мира — США. Хотя сейчас на исследования в области возобновляемых источников энергии выделяется более сорока процентов федеральных затрат на исследования в области энергетики (рис. 1), их вклад в энергобаланс США составляет менее 1% (рис. 2). Стоит сравнить это с почти 40%-ой долей нефти в энергобалансе при всего 2% затрат на исследования в области нефтедобычи [4]. По мнению всех серьезных специалистов и аналитиков, несмотря на значительные усилия, даже к концу текущего столетия доля возобновляемых источников в мировом энергобалансе вряд ли достигнет даже 10%. Но бум вокруг биотоплив набирает обороты, и в ближайшие годы прогнозируется многократный рост их мирового производства (рис. 3) [5]. Поэтому стоит рассмотреть более подробно, что же это такое — биотопливо, и действительно ли оно может спасти мировую энергетику?

Во-первых, биотопливо не является «новейшим достижением» человечества, а, наоборот, древнейший источник энергии. И сейчас почти половина населения мира, как и их предки десятки тысяч лет назад, использует дрова, т.е. биотопливо, для отопления и приготовления пищи. Помимо сжигаемой для производства тепла и энергии биомассы под биотопливом понимают также полученный из растительного сырья этанол (биоэтанол — добавка к автомобильным бензинам), дизельное топливо на базе продуктов растительного или животного происхождения (биодизель) и биогаз, потребляемый, главным образом, в бытовом секторе.

Ренессансу интереса к биотопливу в значительной степени способствовала «зеленая революция», позволившая к концу прошлого века резко поднять урожайность практически всех сельскохозяйственных культур. Пионером и, вплоть до недавнего времени, мировым лидером в промышленном производстве биотоплива для нужд автотранспорта была Бразилия, производившая из сахарного тростника большой объем этилового спирта в качестве добавки к автомобильному бензину. Сейчас

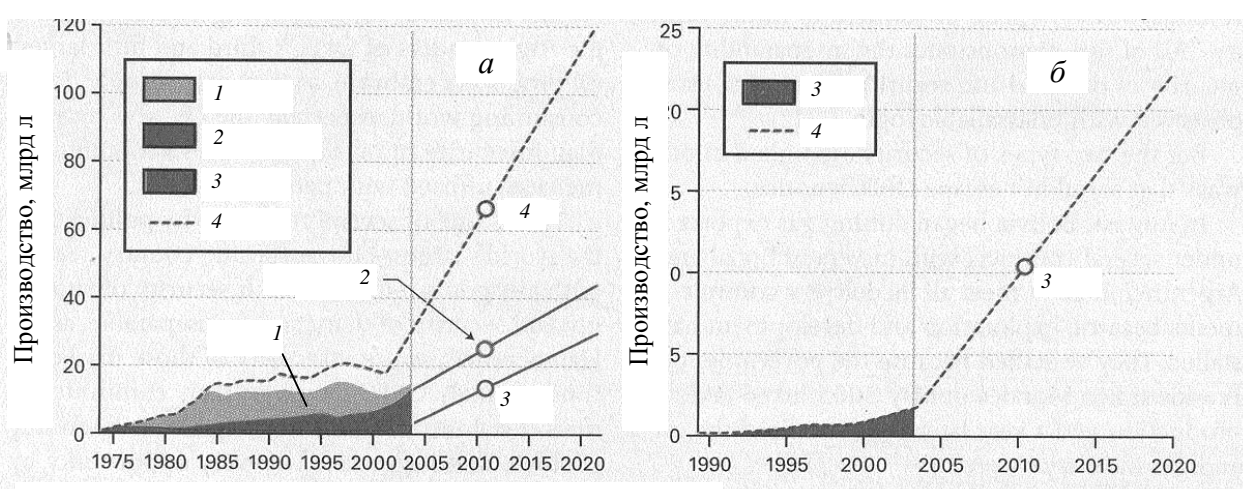


Рис. 3. Прогноз мирового производства биотоплив [5]:

а — топливный этанол, б — биодизель

1 — Бразилия, 2 — США—Канада, 3 — Европейский союз, 4 — весь мир

наибольший энтузиазм в вопросе внедрения биотоплива проявляет администрация США, провозгласившая амбициозную цель — довести в национальном бензиновом пуле долю биоэтанола, производимого в основном из кукурузы, до 12% и заместить к 2025 г., в основном за счет использования биотоплив, более 75% нефтяного импорта со Среднего Востока. Предполагается увеличить производство биоэтанола с 5 млрд галлонов в 2005 г. до 60 млрд галлонов в год к 2030 г. В Европе основным транспортным биотопливом является биодизель — продукт этерификации метанолом жирных кислот, получаемых гидролизом растительных масел и жиров животного происхождения. Из общего объема мирового производства в 2005 г. в 1,7 млн т, 1,5 млн т было произведено в Европейском Союзе, где его получают из рапсового масла.

Строго говоря, биотоплива, получаемые в результате интенсивного сельскохозяйственного производства, не являются возобновляемым ресурсом. Помимо большого объема ископаемого топлива и минеральных удобрений, без которых невозможно многолетнее эффективное возделывание высокоурожайных монокультур, в резуль-

тате постоянной эрозии расходуется, и довольно быстро, такой практически невозполнимый ресурс, как почва. Технические культуры, в т.ч. кукуруза, приводят к значительно большей эрозии почвы, чем зерновые или фуражные и резко увеличивают потребление крайне дефицитной воды на орошение. Проведенные в штате Огайо исследования показали, что продолжительное выращивание кукурузы как монокультуры увеличивает скорость эрозии почвы в девять раз по сравнению с последовательным чередованием посевов кукурузы и пшеницы [6].

Кукуруза — не единственное и далеко не лучшее сырье для производства биоэтанола (табл. 1) [7], мировое производство которого превысило в 2006 г. 12 млрд галлонов. Тем не менее, это основной источник производства биотоплив в климатических условиях США, где производится свыше 5 млрд галлонов этанола, что по теплосодержанию соответствует всего 2% американского потребления бензина (около 140 млрд галлонов/год). Сейчас этанол подмешивают к 40% производимого в США бензина вместо запрещенного МТБЭ. В 2007 г. в США ожидается производство свыше 7 млрд галлонов этанола.

Однако столь впечатляющая динамика мирового и особенно американского производства биотоплива в последнее время встречает нарастающий вал критических комментариев. В одном из своих выступлений президент Национальной нефтехимической ассоциации США отметил, что биотоплива не решают энергетических проблем США. Производимый из зерна этанол не является экономически и энергетически эффективной альтернативой бензину. Замена только 10% необходимого к 2020 г. США бензина этанолом потребует шестой части всех земель, занятых под зерновые [8].

Сейчас половина американского урожая кукурузы идет на корм скоту, 10% используется в пищу населению, как посевное зерно и на технические нужды. Ос-

Таблица 1

Удельный выход и стоимость этанола из разного сырья [7]

Сырье	Объем производства, т/га	Стоимость, долл./м <sup>3</sup>
Сахарная свекла	2,3—3,0	300—400
Сахарный тростник	3,5—5,0	160
Кукуруза	2,5	250—400
Пшеница	0,5—2,0	380—400
Картофель	1,2—2,7	800—900
Синтетический спирт	—	540
ТБО (твердые бытовые отходы)	20 м <sup>3</sup> /т	—

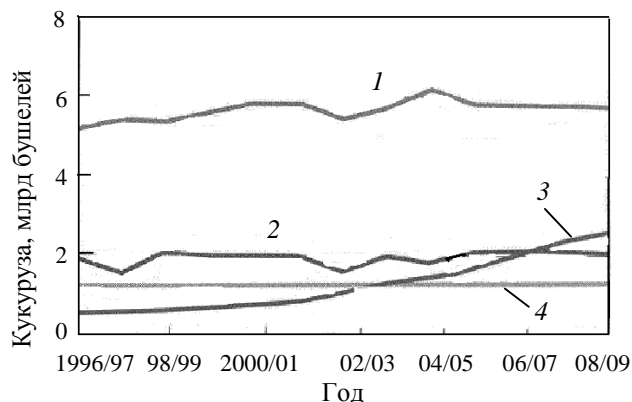


Рис. 4. Основные области потребления зерна в США [8]

1 — кормовое зерно, 2 — экспорт, 3 — топливный этанол, 4 — пищевая промышленность и семена

тальная часть распределяется между экспортом и производством этанола. Уже в 2006 г. для производства этанола было использовано 19% американского урожая зерна — величина, почти равная объему его ежегодного экспорта (рис. 4) [9].

Всего в США под кукурузой занято 80 млн акров. Поскольку каждый млрд галлонов этанола требует переработки урожая с примерно 2,5 млн акров, поставленная администрацией США цель получить к 2012 г. 7,5 млрд галлонов этанола потребует 25% зерновых площадей США. Если же использовать для производства этанола все производимое в США зерно кукурузы (табл. 2), можно получить 32 млрд галлонов — всего около половины тех 60 млрд галлонов, которые Буш поставил целью получить к 2030 г. [10].

Еще больше негативных комментариев вызывает энергетический аспект получения биотоплив. Оппоненты столь широкого внедрения возобновляемых топлив ставят резонный вопрос, действительно ли энергия, поставляемая в виде биотоплива, превышает энергию, затраченную на их производство? David Pimentel, профессор сельскохозяйственных наук из Корнельского университета (Cornell University) в США рассчитал, что на получение этанола из зерен кукурузы требуется на 29% больше энергии, чем содержится в полученном топливе. Для того, чтобы использовать в качестве сырья для производства этанола скошенную траву (сено) потребуется уже на 50% больше энергии ископаемого топлива, чем содержится в полученном топливе [9].

Хотя сторонники биотоплив оспаривают эти оценки, даже по данным явно равнодушных к этому вопросу экономистов Министерства сельского хозяйства США прибавка в энергосодержании составляет всего 34%, да и то благодаря последним технологическим достижениям в этой области [9]. Согласно результатам, полученным в Калифорнийском университете в Беркли, энергетический баланс биоэтанола все-таки положителен, но доля возобновляемой энергии, полученной за счет энергии солнца, составляет всего от 5 до 26%. Остальное

Таблица 2

Урожай основных сельскохозяйственных культур в США [6]

Культура	Засеваемая площадь, млн акров	Урожай, млн	Урожай с акра
Кукуруза	72,25	10494 буш.*	145 буш.
Соя	72,57	2855 буш.	39,3 буш.
Пшеница	49,75	2053 буш.	41,3 буш.
Сено	62,37	154,4 т	2,47 т
Хлопок	12,82	20,65 кип	733 фунта
Сорго	6,84	407,1 буш.	59,5 буш.
Ячмень	4,04	249,2 буш.	61,8 буш.
Рис	3,22	21661 фунта	6 721 фунта

\* 1 бушель = 35,24 л

покрывается за счет энергии ископаемых топлив. Если принять среднюю величину 16%, то декларированная к 2015-му году 15%-ная добавка биоэтанола к бензину обеспечит в нем долю возобновляемой энергии всего 2,4%. Причем этот с таким трудом обеспеченный вклад возобновляемой энергии в топливный баланс США будет съеден всего за три года общим ростом потребления бензина за счет роста населения [11].

И это помимо того, что растущее производство зерна влечет множество других отрицательных с точки зрения сохранности окружающей среды явлений, в частности, уже упоминавшиеся усиление эрозии почвы, увеличение потребления азотсодержащих удобрений и расхода воды. Согласно последним данным, кукурузное и рапсовое топливо создают на 50—70% больше парниковых газов, чем традиционный бензин и дизтопливо. А ведь повышение эффективности использования традиционного бензина всего лишь на 3% привело бы к экономии большего количества углеродного топлива, чем использование всего рекордного по объему мирового производства этанола 2006 г. [9].

Аналогична ситуация и с биодизелем. В 2006 г. США сожгли 50 млрд галлонов дизтоплива, из которых только 25 млн галлонов, т.е. 0,05% составлял биодизель. Хотя преимущества биодизеля расписываются в массе статей в популярной и научной прессе, почти никто не анализирует потенциал его производства. Единственный реальный источник производства биодизеля в США это тот объем масличных культур, который сейчас идет на экспорт. Этот объем, прежде всего, соя, может обеспечить годовое производство всего около 40 млн баррелей биодизеля или 0,5% американского потребления нефти. Расширение посевов сои нереально, т.к. она растет в тех же штатах, в которых выращивают кукурузу для производства этанола, и из-за возникшей конкуренции ее посевы, наоборот, сокращаются. Даже если бы удалось собрать всю сельхозпродукцию США, которую можно превратить в биодизель, включая все сельскохозяйственные отходы, содержащаяся в ней энергия соответ-

вовала бы всего 7,4% первичного потребления энергии в США. Реальный объем энергии, который мог бы быть получен из этой продукции, значительно ниже [6].

Не менее сомнителен и экономический аспект производства биотоплив. Каждый процент биодизеля, добавленного к обычному дизтопливу, увеличивает стоимость галлона топлива на 1 цент. В [7] сообщается, что затраты на производство этанола из кукурузы в два раза превышают стоимость полученного топлива. Производство биотоплива в США и Европе неубыточно для производителей только за счет предоставления значительных налоговых льгот на каждый галлон использованного биотоплива. Только это позволяет данному топливу конкурировать на рынке с нефтяными топливами. Налоговое ведомство США предоставляет налоговый кредит в размере 51 цент/галлон для производителей этанольных смесей, а также ряд других льгот производителям и импортерам этанола и бензино-этанольных смесей.

А на горизонте уже серьезный кризис в сфере производства продуктов питания, вызванный растущим потреблением продуктов сельского хозяйства на производство биотоплив. Когда в 2005 г. 14% урожая зерна было использовано для производства этанола, это вызвало резкий скачок цен на зерно. В январе 2007 г. контрактные цены достигли 4,04 долл./бушель, хотя годом раньше они составляли всего 2,08 долл./бушель [6]. Правительственное информационное агентство США в области энергетики (US Energy Information Administration — EIA) прогнозирует, что ожидаемое увеличение в 12 раз производства биоэтанола и биодизеля за период 2005—2025 гг. вызовет повышение цен на зерно до 6,25 долл./бушель. В отсутствие потребления зерна на эти цели его прогнозируемая цена составляла бы всего 3 долл./бушель [12].

В связи с этим оппоненты справедливо указывают и на этическую сторону вопроса получения биотоплив. Более 2 млрд людей в мире испытывают серьезный недостаток продуктов питания. Из-за роста потребности в этаноле и соответствующего роста цен на зерно растут цены и на остальные продукты питания — свинину, говядину, мясо птицы, молоко и др. В качестве контраргумента сторонники более широкого внедрения биотоплив обычно указывают, что в будущем основным их источником станут не пищевые культуры, а всевозможные отходы растительного происхождения. Но, во-первых, таких промышленно рентабельных технологий пока нет и неизвестно, когда они появятся и появятся ли вообще. Во-вторых, удельный выход топлив из них будет заведомо много ниже, а затраты на их сбор, транспортировку, переработку и объем образующихся при этом экологически проблемных отходов будет много выше, чем при переработке пищевых культур. В итоге, добавленная «солнечная энергия» если и будет положительной, то почти микроскопической величиной. Ну и, наконец, на объем этих ресурсов распространяются все те ограничения на общий объем растительной массы, которая может быть изъята из природных экосистем без угрозы нарушения природного равновесия.

Иногда в качестве аргумента в пользу использования биотоплив указывают на их потенциальную роль в снижении эмиссии парниковых газов за счет снижения потребления ископаемого топлива. Однако при этом необходимо учитывать возможность использования альтернативных стратегий землепользования для решения этой же задачи. Согласно данным [13], посадки леса на эквивалентной площади за 30-ти летний период приведут к большему снижению эмиссии диоксида углерода (от двух до девяти раз). Для производства сколь угодно значительного объема биотоплив необходимы огромные площади пахотных земель. Замещение только 10% бензина и дизтоплива потребует 43% земель, занятых под зерновые в США и 38% соответствующих земель в Европе. Поскольку даже это незначительное замещение не может быть осуществлено за счет существующих пахотных земель, необходимо будет расчистить под пашню соответствующее количество лесов и лугов. Это приведет к быстрому окислению накопленного в почве углерода и огромной эмиссии CO<sub>2</sub>, которая при всех рассмотренных сценариях превосходит «предотвращенную» эмиссию. Поэтому вывод однозначен — с точки зрения сокращения эмиссии CO<sub>2</sub> в краткосрочной перспективе (порядка 30 лет) наиболее реальной политикой является повышение эффективности использования ископаемых топлив, сохранение существующих лесов и лугов и восстановление природных лесов и лугов на пахотных землях, которые не используются для производства продуктов питания [13].

В качестве средства для сокращения эмиссии парниковых газов и замещения нефти, биотоплива крайне дороги. Предотвращение эмиссии одной тонны CO<sub>2</sub> за счет использования полученного из зерна этанола оценивается в более чем 500 долл. А с точки зрения замещения ископаемых топлив, использование биотоплив практически удваивает стоимость энергии и для потребителей и для налогоплательщиков одновременно [14]. Комментаторы отмечают, что поскольку государственные преференции и субсидии в этой области сейчас поддерживают крайне неэффективные с экологической точки зрения мероприятия, направленные на производство более дорогих и имеющих более негативное воздействие на окружающую среду топлив, они в один прекрасный момент могут закончиться, что вызовет коллапс всей этой отрасли. Общий вывод американских оппонентов широкого внедрения биотоплив, резюмированный в [6]: для политиков настало время прекратить притворяться, будто биомасса может внести сколь угодно значительный вклад в потребление энергии в США или снижение эмиссии углекислого газа.

Что же является движущей силой столь мощной кампании в пользу биотоплив? В основе американской политики в этой области лежат два очевидных внутри- и внешнеполитических аспекта. Это поддержка (а попросту, дотация) собственных сельскохозяйственных производителей, представляющих значительную силу в среднеамериканских штатах, и экономический шантаж стран ОПЭК. Угроза была воспринята адресатом доста-

точно серьезно и уже вызвала ответную реакцию — страны ОПЭК пригрозили резко сократить капвложения в нефтяную отрасль «ввиду неопределенных перспектив с поставками нефтепродуктов из-за роста производства биотоплива в США». Согласно сообщению в *Financial Times* от 5 июня 2007 г. официальный представитель ОПЭК заявил, что усилия западных стран по внедрению биотоплив могут взвинтить цены на нефть «выше крыши». Комментаторы полагают, что ОПЭК может сократить инвестиции в нефтедобычу в качестве политического ответа на усилия нефтепотребляющих стран в области биотоплив [15]. Это перекликается с озвученными недавно В.В. Путиным требованиями долгосрочных гарантий для экспортеров энергоресурсов, аналогичных тем, на которых до сих пор настаивали импортеры. Но, скорее всего, с обеих сторон это не более чем дипломатическая игра, т.к. ведущие участники мирового нефтяного бизнеса прекрасно понимают отсутствие в современных условиях реальной альтернативы нефти и другим ископаемым топливам.

Недавно по поводу мирового безумия в отношении биотоплив, наконец-то, было выражено полуофициальное сомнение, причем, что особенно знаменательно, на форуме, посвященном устойчивому развитию! «Биотопливо — не страшнее ли лекарство самой болезни?» вопрошает заголовок официального документа Круглого стола по проблеме устойчивого развития стран ОЭСР, проведенного в Париже [15]. Авторы отмечают, что правительство США ввело щедрую систему налоговых кредитов, тарифов и мандатов на продажу для расширения рынка этанола и биодизеля. Заявленные цели — расширение источников получения моторных топлив, снижение загрязнения воздуха и эмиссии парниковых газов. Реальная же причина — обогащение производителей зерна, этанола и биодизеля. Но явные политические мотивы, стоящие за политикой США в области биотоплив, пока не отпугнули правительства других стран Европы и Китая от собственных щедрых инициатив в этой области. Ведь США не единственная в мире страна, где сельскохозяйственное лобби является мощной политической силой. Общие выводы этого 57-страничного документа не оставляют сомнений, что Круглый стол по проблеме устойчивого развития стран ОЭСР расценивает ажиотаж вокруг биотоплив, как экологически и экономически несостоятельный.

В заключение стоит сказать несколько слов о перспективе производства биотоплив в России, поскольку волна зарубежной активности в этой области докатилась и до гораздо менее благоприятных для сельскохозяйственного производства просторов нашей страны. США, крупнейший мировой производитель и экспортер сельскохозяйственной продукции, могут позволить себе выделить часть свободных ресурсов сельхозпродукции для переработки в биотопливо. Для России ситуация прямо противоположная. Мы пока не в состоянии полностью обеспечить собственные потребности в продовольствии и, видимо, являемся одним из крупнейших мировых импортеров сельскохозяйственной продукции.

Поэтому у нас есть множество более прямых и действенных методов для государственной поддержки национального сельского хозяйства. Проблему же снижения зависимости России от нефтяного импорта пока, видимо, можно серьезно не рассматривать.

Тем не менее, стремясь во всем следовать за Западом, мы не только повторяем с определенным временным отставанием его увлечения и заблуждения, но и доводим их до абсурда. Впрочем, это естественно, пока мы остаемся «ведомыми» в мировой экономике: хвост состава всегда заносит сильнее головных вагонов. Поэтому не удивительно, что увлечение Западом биотопливом, как и нанотехнологиями, может перерасти у нас чуть ли не в «национальную идею».

Биотоплива, как и солнечная энергетика, уже занимают и будут занимать определенную нишу в мировой энергетике. Вопросы расширения их ресурсной базы, совершенствования производства и применения на транспорте, безусловно, имеют большое практическое значение и достойны серьезной государственной поддержки. Но при этом необходимо отчетливо понимать, что их доля в мировой энергетике, скорее всего, никогда не превысит нескольких процентов. А для российской энергетике они вообще вряд ли когда-либо будут представлять серьезный интерес и выйдут за рамки регионального топлива. При низкой эффективности использования ископаемых топлив в отечественной экономике и слабом уровне развития отечественных энергосберегающих технологий даже относительно небольшими усилиями по снижению энергозатрат всего на несколько процентов можно перекрыть все мыслимые выгоды от развития производства биотоплив в России.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Капица П.Л. Энергия и физика. УФН, 1976, т. 118, № 2, с. 307.
2. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивой жизни. М.: ВИНТИ, 1995, 470 с.
3. Мусеев Н.Н. Сочинения в 3-х томах. т. 3. М.: Изд-во МНЭПУ, 1997, с. 92.
4. Tinker S.W., Kim E. *Oil & Gas J.* 2004, Sept. 27, p. 18—24.
5. Dittrick P. *Ibid.*, 2007, Oct. 8, p. 20—24.
6. Anthrop D.E. *Ibid.*, 2007, Feb. 5, p. 25—29.
7. Панцхава Е.С., Пожарнов В.А. Энергия, 2005, № 6, с. 10—19.
8. *Oil & Gas J.*, 2006, Nov. 13, p. 29.
9. Johnson J. *Ibid.*, 2007, Jun. 1, p. 19—21.
10. Johnson J. *Ibid.*, 2006, Dec. 4, p. 57—62.
11. Farrel A.E., Plevin R.J., Turner B.T., Jones A.D., O'Hare M., Kammen D.M. *Science*, 2006, v. 311, № 5760, p. 506—508.
12. *Oil & Gas J.* 2007, Oct. 15, p. 19.
13. Righelato R., Spracklen D.V. *Science*, 2007, v. 317, № 5840, p. 902.
14. *Oil & Gas J.*, 2007, Sept. 24, p. 17.
15. *Oil & Gas J.*, 2007, June 25, p. 19.