

Э. И. Мургазина

ПОЛУЧЕНИЕ БИОТОПЛИВА ИЗ ВОДОРΟΣЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В УНИВЕРСИТЕТЕ ШТАТА АРИЗОНА (США)

Ключевые слова: биотопливо, биомасса, идентификация штаммов, биотехнологии водорослей, биоремедиация, биотопливо третьего поколения, неистощительное природопользование, питательное вещество, сохранение воды, исследования водорослей, биотехнология, молекулярный фингерпринтинг, коммерциализации продуктов из водорослей, биотопливо в морских перевозках, авиационное биотопливо, автомобили на биотопливе.

На основе анализа литературы по рынку жидкого биотоплива, изучено текущее состояние отрасли производства биотоплива из водорослей в США. Рассмотрена деятельность университетов США по разработке технологий переработки водорослей. Исследованы научные разработки Центра переработки водорослей и инноваций в университете штата Аризона и их коммерциализация. Отмечается, что сотрудничество КНИТУ с университетом штата Аризона позволяет разрабатывать учебные программы и учебно-методические материалы по программе «Энергосберегающие технологии производства топлива из возобновляемого сырья» и «Экобиотехнология», а также перенимать опыт продвижения научных изобретений в области топлива и биоремедиации.

Keywords: biofuel, biomass, strain identification, algal biotechnology, bioremediation, third-generation biofuels, sustainability, nutrient, water conservation, algae research, biotechnology, molecular fingerprinting, algal product commercialization, marine use of biofuel, aviation biofuel, biofuel cars.

Analyzing the literature on liquid biofuel market, the current condition of algae biofuel production in the USA has been studied. U.S. Universities activity on the development of algae processing technologies has been considered. The scientific research results of the Arizona Center for Algae Technology and Innovation and their commercialization have been investigated. It is mentioned that collaboration with Arizona State University allows the KNRTU to develop the curriculum and teaching methods on the program «Power Saving Engineering for Biofuel Production» and «Ecological Bioengineering» and to adopt the experience of technologies transfer in the fuel and bioremediation industries.

Целью настоящей статьи является выяснение положения США на мировом рынке биотоплива; определение ведущих исследовательских университетов и компаний-производителей, занимающихся разработкой технологий производства топлива из водорослей, а также технологий производства; изучение возможностей центра технологий переработки водорослей и инноваций в крупнейшем в США публичном образовательном и исследовательском университете штата Аризона.

Проблема дефицита энергоресурсов появилась не вчера, как и попытки решить ее за счет альтернативных источников энергии. Актуальность проблемы дефицита энергоресурсов со временем только возрастает: необходимость перехода на альтернативные источники диктуется не только удорожанием ископаемых энергоресурсов, но и угрозами глобального изменения климата. Биотопливо, получаемое из биомассы, – один из наиболее распространенных в современном мире возобновляемых источников энергии [1].

Существуют два мировых рынка биотоплива - рынок жидкого и рынок твердого биотоплива. Оба стремительно и динамично развиваются. Основными производителями биоэтанола уже несколько лет остаются США и Бразилия, их общемировая доля в 2010 году составила около 90 % (по оценкам Института Всемирного Наблюдения). Следующим за биоэтанолом по популярности и объемам производства видом биотоплива является биодизель, ежегодные объемы производства которого в настоящее время превысили 20 млрд л. [2] Россия пока мало заметна на мировом рынке производства жидкого моторного биотоплива. На смену биотопливу первого поколения (так называемому топливу,

получаемому традиционными технологиями из сахара, крахмала, растительного масла и животного жира) приходит второе и третье поколения. Ко второму поколению относят биотопливо, вырабатываемое из древесины, шелухи некоторых злаковых культур и другой биомассы (лигноцеллюлозный этанол).[3]Биотопливо третьего поколения изготавливают из водорослей. Подсчитано, что с 1 акра водорослей можно произвести в 30 раз больше биотоплива, чем с 1 акра любого наземного растения [4]. Биотопливо второго и третьего поколений из водорослей и других одноклеточных организмов является «самым волнующим экспериментом, который сейчас идет в биоэнергетике». Быстро растущая водоросль обладает огромным потенциалом, являясь источником недорогого и энергоэффективного биотоплива. Водоросль производит липиды и масла в клетках, которые могут быть экстрагированы и превращены в возобновляемое топливо, например биодизель или авиатопливо. Массовое производство водорослей в фотобиореакторах дает большое количество высококачественных продуктов: полиненасыщенные жирные кислоты, каротиноиды, полиоза, биологически активные вещества[5]. С 1978 по 1996 гг. Департамент развития топлива Министерства энергетики США финансировал программу Aquatic Species по получению биотоплива из водорослей, но реальные результаты стали появляться только в последние годы, когда такие ученые, как Стивен Мэйфилд из Калифорнийского университета Сан-Диего, применяя наработанные в фармацевтической индустрии методы, научились разводить водоросли, которые отличаются следующими характеристиками: быстро растут, содержат много масла, устойчивы к заболеваниям [6]. На сегодняшний день США про-

должают зависеть от импорта энергоносителей, ввоза из-за рубежа около 20% потребляемых источников энергии, однако, по прогнозу ежегодного доклада «World Energy Outlook» Международного энергетического агентства, к 2035 г. страна почти достигнет самодостаточности в производстве энергоносителей, включая биотопливо [7].

На сегодняшний день производство биотоплива третьего поколения носит экспериментальный характер, в этой области ведется все больше исследований, в том числе и в России [8]. Ожидается, что вскоре такое производство должно стать экономически рентабельным. В отличие от рынка твердого биотоплива, рынок жидкого биотоплива в России не развит [4]. По оценкам учёных из Министерства энергетики США, ежегодно морские водоросли могут обеспечить не менее 50 млн. тонн сухого сырья для производства биотоплива. Одна из проблем, препятствующих их более широкому использованию, которые сейчас пытаются решить исследователи – короткий срок службы катализаторов биомассы, их недостаточная стабильность в процессе переработки сырья, а также сильное загрязняющее действие сольвентов, используемых в процессе извлечения масла [9].

В качестве примера серьёзных исследований по выращиванию водорослей можно привести результаты, полученные лабораторией NREL в годы нефтяного кризиса 70-х в рамках американской программы Aquatic Species Program (ASP). Для производства биодизельного топлива, богатого липидами, использовались установленные на открытом воздухе прозрачные "садки", в которые подавался газ CO₂ из расположенной неподалёку электростанция на угле. В результате экспериментов ASP удалось установить порядка 300 подвидов водорослей – главным образом, диатомовых (кремневых) водорослей и зелёных водорослей, позволяющих достигать следующие результаты: при оптимальных условиях роста микроводорослей достигать производительности до 15000 галлонов с акра в год; 7,5 млрд. галлонов биодизельного топлива может быть произведено на площади в 500 тысяч акров в пустынях (для производства такого же количества биотоплива из рапса потребовалось бы занять порядка 58 млн. акров). Водоросли содержат жиры, углеводы и протеин, в некоторых случаях – до 60% жиров, до 70% которых может быть "добыто" элементарной отжимкой. Программа, закрытая десять лет назад ввиду малой рентабельности из-за снизившихся тогда цен на нефть, совсем недавно получила "второе дыхание", поскольку, в связи со штурмом нефтяных цен 100-долларового рубежа, в октябре Министерство энергетики США в сотрудничестве с компанией Chevron объявило о поисках новых технологий переработки водорослей. В дополнение к этому, агентство DARPA при Пентагоне в настоящее время спонсирует разработки авиационного топлива из растительного сырья, в том числе, из водорослей, и в настоящее время плотно сотрудничает с компаниями UOP (Honeywell), General Electric, а также с университетом Северной Дакоты.

В настоящее время широко распространены три способа переработки водорослей в топливо, и все три позаимствованы из методик переработки масличных культур – с помощью прессы или маслоотделителя; селективная экстракция в надкритическом состоянии; селективное отделение и очистка с помощью гексана. [10] Ученые Центра технологий создания биотоплива, что при университете штата Миннесота, многие годы исследует возможности использования различных типов водорослей для получения недорогого биотоплива для автомобилей. [11] Новая технология для эффективного получения биотоплива из водорослей разрабатывается в Университете штат Айова (США), новизна которой заключается в поглощении свободных жирных кислот из живых клеток водорослей наночастицами без причинения растениям ощутимого вреда. Более ранние технологии получения биотоплива из водорослей подразумевали гибель растений. В новейшей разработке учёных, извлечённые посредством наночастиц жирные кислоты водорослей преобразуются, при участии нетоксичного катализатора T300, непосредственно в биотопливо. Эта новая технология позволяет увеличить эффективность получения биотоплива при минимальном уровне загрязнения окружающей среды побочными продуктами производства [12].

Биотопливо уже внедряется в США. Разработками технологий получения масла из водорослей занимаются следующие исследовательские американские университеты: университет штата Аризона, Иллинойский университет в Урбана-Шампейн, Калифорнийский университет в Сан-Диего, университет Небраска-Линкольн, Техасский университет в Остине, Университет Мэна, Канзасский университет, Колледж Вильгельма и Марии, университет северного Иллинойса, Техасский университет в Сан-Антонио, университет Старого Доминиона, Университет штата Юта, государственный университет Нью-Мексико и Миссурийский университет науки и технологий. В Океанографическом институте Woods Hole и Harbor Branch сточные воды внутренних и промышленных вод содержат богатые органические соединения, которые используются для ускорения роста водорослей. На кафедре биоинженерии Технологического института штата Джорджия исследуют производство биомассы микроводорослей с использованием промышленных сточных вод. Компания «Algaewheel», которая базируется в Индианаполисе, штат Индиана, планирует построить технические сооружения в озере Сидар, использовать водоросли для переработки городской сточной воды с использованием отходов – тины для производства биотоплива. Компания «Sapphire Energy» (Сан-Диего) занимается производством зеленого корма из водорослей. Цель этой компании – производство биотоплива из морских водорослей в промышленных объемах, чтобы его покупали нефтеперерабатывающие заводы. Фирма «Solazyme» (южный Сан-Франциско, Калифорния) производит из водорослей топливо для реактивных самолетов. Производство биомассы водорослей организовано усилиями компаний «Boeing Commercial Airplanes», «A2BE

Carbon Capture Corporation», «National Renewable Energy Labs», «Scripps Institution of Oceanography», «Benemann Associates», «Mont Vista Capital» и Государственный Университет Монтаны. В 2008 г. такие воздушные перевозчики как «Air New Zealand», «Continental», «Virgin Atlantic Airways» и корпорация «Honeywell» стали первыми потребителями биотоплива, и, наряду с «Boeing» и компанией-разработчиком технологий биотоплива UOP, присоединились к Организации производства биомассы водорослей.[13] ВМС США объявили об успешных испытаниях нового топлива, состоящего из смеси нефтяного дизельного горючего и биотоплива из водорослей.[14] В Северной Калифорнии началась экспериментальная эксплуатация автомобилей на биотопливе из морских водорослей. Эта технология актуальна и для России. Сеть заправок Propel в Северной Калифорнии начала продажи биодизеля Soladiesel всем желающим. Топливо получают из водорослей путем их сбраживания и последующего выделения углеводов. Изобретатели биотоплива обещают двадцатипроцентное уменьшение выбросов углекислоты и заметное снижение токсичности по другим показателям. Помимо экологичности Soladiesel дешевле традиционной солярки почти вдвое. В пересчете на российскую валюту биодизель из водорослей стоил бы порядка 13 - 14 рублей за литр. Данная технология производства биодизеля подразумевает использование сахара для питания водорослей, а наше сельское хозяйство вырабатывает его достаточно, взять хотя бы свеклу или продукты гидролиза целлюлозы. Еще один вариант - переработка сахаро- и крахмалосодержащих продуктов на биоэтанол - затруднен тем, что по закону любая смесь, содержащая спирт, является подакцизной. В случае с водорослями мы сразу получаем биодизель, причем спирт в этом процессе никак не фигурирует. Мы с нетерпением ждем, когда водорослевая технология будет лицензирована и ее можно будет внедрять в России, - отметил Алексей Аблаев, президент Российской биотопливной ассоциации [15].

В 2012 г. Министерство энергетики США выделило грант университету штата Аризона в размере 15 млн. долларов на разработку технологии производства органического масла, которое впоследствии может быть использовано в качестве сырья для нефтеперерабатывающих заводов. Ассигнования пойдут, прежде всего, на проекты, которые помогут усовершенствовать технологии термохимического сжижения. В ходе исследований будут отработаны способы получения органического биотоплива из морских водорослей. Полученное из водорослей органическое масло должно быть пригодным для переработки на нефтеперерабатывающих заводах и получения таких видов топлива как бензин, дизельное или авиационное топливо. В отличие от других источников биотоплива, например, кукурузы, водоросли не требуют пахотных обрабатываемых земель. Расположение Аризоны (юго-запад США) уникально для проведения исследований водорослей и их переработки. Там много земли, часто не пригодной для посева, огромный запас солонова-

той жесткой воды и обильное солнце – это идеальное место для выращивания водорослей. Вдобавок к этому, университет штата Аризона является первопроходцем в области исследований водорослей: они ведутся более 30 лет. Ученые университета разработали быстро растущие штаммы, производящие большое количество масла, а также методы выращивания, сбора и экстракции для производства маслевой культуры и биомассы [16]. В плане Министерства энергетики США была разработана партнерства региональных лабораторий по разработке сырья-водорослей. В эту задачу входил сбор данных в разных местностях в контролируемых условиях и создание для ученых возможности использовать средства и аппаратуру исследовательской лаборатории для дальнейших исследований. Центр технологий переработки водорослей и инноваций в университете штата Аризона является двигателем научных исследований штата. Штат находится на передовой линии индустрии биотоплива. Центр, расположенный в Политехническом кампусе на востоке г. Меса, является местом исследования, тестирования и коммерциализации продуктов из водорослей, среди которых: биотопливо, лекарственные препараты, нутрицевтики и другие продукты из биомассы. Грант, полученный от Министерства энергетики США, поможет Центру стать стартовой площадкой для использования исследований водорослей в коммерческих целях, что уже происходит в университете штата Аризона и Аризонском университете в Тусоне. Центр – это также учебная среда для следующих поколений ученых и инженеров. Для специалистов и интересующихся проводится демонстрация отдельных операций и смешанных режимов работы всей цепочки переработки водорослей: разработка штаммов; производство сырья (биоремедиация, снижение уровня CO₂, сбор и удаление воды; совместно производимый продукт: сушка и предварительная обработка, экстракция и преобразование; экстракция и преобразование, коммерциализация и внедрение (нетопливное использование: липиды). Спектр научных исследований Школы устойчивого развития «Lightworks», созданной в университете в 2007 г., охватывает множество дисциплин и областей, делая особенный упор на возобновляемую энергию, включая искусственный фотосинтез, биотопливо из водорослей [17].

К центру технологий переработки водорослей и инноваций относятся национальная испытательная лаборатория исследований водорослей и биотехнологий (LARB), и частно-государственное объединение «Algae Testbed» (ATP3). Выгодно используя большую материальную базу университета - оборудование для выращивания и разведения водорослей, общественные и частные организации могут внедрять свои проекты и изобретения по переработке водорослей. Профессора Милтон Соммерсфилд и Кианг Ху, содиректоры лаборатории исследований водорослей и биотехнологий в университете штата Аризона, разрабатывают технологии производства биотоплива для коммерческого использования. Компания «Heliae Development LLC» лицензировала технологию, разработанную М. Соммерсфелдом и К.

Ху, а также рассматривает процесс производства авиационного топлива из водорослей в крупном масштабе. В сотрудничестве с учеными из Университета штата Аризона компания Intel разработала установку для выращивания водорослей с помощью углекислого газа, поступающего с производственных котлов, и переработки этих водорослей в биотопливо. Использование таких установок, размещенных на крышах зданий помогает сократить объемы общих выбросов с фабрики Intel и удовлетворить спрос на экологически чистое топливо. [18] Ученые лаборатории занимаются поисками партнеров, которые заинтересованы в решении проблем культивации разных штаммов водорослей в различных условиях и местах. Такая ассоциация позволяет рассматривать и решать более широкие вопросы: климатическое воздействие на разведение разных штаммов водорослей в разных условиях. Основные составляющие экспериментальной лаборатории – это совместное открытое производство, отличающееся географически и вспомогательная инфраструктура для ускорения прикладных исследований в области изучения водорослей, разработка технологий и конечная коммерциализация сырьевой продукции – водорослей для биотоплива. Предполагается совместное сотрудничество образовательных учреждений, национальных лабораторий и коммерческих предприятий. Основной фокус делается на получении данных о производстве водорослей в разных местах, в разное время года, при разном климате, с использованием стандартных рабочих и аналитических протоколов для синтеза данных, на выборе расчетных моделей, оценке технико-экономической реализуемости.

Некоторые компании особенно заинтересованы в экспертизе, которую центр может предоставить по штаммам водорослей, помочь в плане методик. Центр дает таким компаниям информацию, а они используют ее на свое усмотрение. Или же, группа экспертов из центра университета штата Аризона совершенствует идею, предложенную компанией. Концепция лаборатории - выполнять вещи, которые помогают всей индустрии производства изучить водоросли лучше в плане разведения и переработки. Образовательный и обучающий компонент деятельности лаборатории представлен семинарами, курсами по специальности и мероприятиями для поддержки компаний, которые посылают своих работников на тренинг, или образовательных учреждений, которые хотят направить своих студентов в университет штата Аризона или в другое учебное заведение. На данный момент университет сотрудничает с Техасским университетом, где уже введен курс по выращиванию и хранению водорослей [16].

Таким образом, миссия центра – это фундаментальные и прикладные исследования, преподавательская деятельность, тренинг по биологии водорослей и цианобактерий, учет их роли в решении проблем загрязнения окружающей среды, применение их для решения проблем энергетики и определенные услуги. Услуги, предоставляемые центром, это: идентификация и оценка штаммов, оценка пи-

тательной среды, разработка и оценка схем выращивания бактерий, работа с бактериями и разработка протокольных записей процессов, химический и биохимический анализ, рекомендации по проектированию интеграции и оптимизации схем, определение объема питательных веществ, экологичность и менеджмент, сохранение воды, менеджмент и утилизация, оценка оборудования и разработка методов, оценка процессов на макете, моделирование обработки и технико-экономическое обоснование, идентификация и анализ побочных продуктов. [17] Исследования центра в области биотехнологий водорослей финансируется программой NSF-SBIR, корпорацией «Algaen» и Научным Фондом Аризоны, частично самим университетом; в области разработки технологий биотоплива - компанией «UOP», «DARPA», «XL», «TechGroup», «AZTE» и «Heliae Development»; в области биоремедиации – компанией «Arizona Public Service», отделом управления качеством окружающей среды Аризоны, проектом Salt River, Американским Бюро мелиорации, Министерством сельского хозяйства США и геологической службой США. Исследования, финансируемые проектом Salt River и отделом управления качеством окружающей среды Аризоны, сосредоточены на использовании методов молекулярного фингерпринтинга для обнаружения токсичной водоросли, которые выделяют токсичные вещества в водные стоки. Проект реализуется на озере Сагуаро (юг Аризоны) и распределительных каналах проекта Salt River. Лаборатория имеет опыт сотрудничества с городами Чандлер, Финикс, Темпе, Пеория в плане определения, контроля и устранения проблемы запаха питьевой воды. [18] Такие организации, как центр тех-трансфера Arizona Technology Enterprises и международный бизнес-инкубатор SkySong оказывают поддержку исследователям и студентам университета, а также предпринимателям из США и других стран в продвижении своих изобретений. Организации-партнерами центра являются: национальная лаборатория возобновляемых источников энергии, национальные лаборатории «Сандия», компании «Algasol», «NanoVoltaix», «Raven Industries», проект «Sault River», «SRS Energy», «World Water Works», «Heliae Development», «Intel», «Psyco Biosciences», «Algae Bioscience Corp», «Litree», «QIBEBT», «Dionex», «Fluid Imaging Technologies» AzCATI, Arizona Center for Algae Technology and Innovatin East Unity Avenue, ISTB-3, Mesa, Arizona [17].

По мнению профессора Милтона Сомерсфилда (лаборатория исследований водорослей и биотехнологий, университет штата Аризона), многообразие дисциплин, количество вовлеченных людей, появление инноваций в системе возделывания культур, технология производства и выделения целевого продукта, а также фундаментальные исследования в биологии – все это дает предвкушение от нахождения решения острых вопросов: как сделать переработку водорослей в биотопливо экономически целесообразной и предпринимательской деятельностью, осуществляемой на принципах неистощительного природопользования.

Следует констатировать, что в России пока проблема альтернативного топлива не получила должной оценки. Высокие цены на нефть не стимулируют естественные монополии вкладывать средства на опережение. Представители малого и среднего бизнеса также не проявляют должного интереса к топливу из возобновляемого сырья. Безусловно, Россия так же, как и страны с небольшими запасами энергоресурсов, в ближайшие 10–15 лет столкнется с проблемой расширения мощностей по производству экологически чистого топлива с целью экономии минерального топлива и снижения выброса в атмосферу вредных газов. В Российской Федерации пока не существует единой государственной программы развития биотоплива, в том числе биодизеля. Правда, в некоторых регионах проявляется инициатива: создаются региональные программы (Алтайский край), формируются общественные объединения на федеральном и территориальном уровнях. Важную координирующую роль в последние годы стала играть Российская биотопливная ассоциация, проводящая конгрессы, выставки, информационную работу. В ряде областей планируется строительство заводов по производству биодизеля: Липецкая, Ростовская, Волгоградская, Воронежская, Орловская, Калужская, Омская, Кемеровская области, Республика Татарстан, Краснодарский край и др. [19].

В настоящее время, между Казанским национальным исследовательским технологическим университетом и университетом штата Аризона установлено сотрудничество: преподаватели проходят стажировку по программе «Разработка и внедрение образовательных программ» США, в будущем возможен обмен студентами. Опыт фундаментальных и прикладных исследований американского университета, методики переработки водорослей могут быть заимствованы КНИТУ для составления магистерских программ «Энергосберегающие технологии производства топлива из возобновляемого сырья» и «экобиотехнология» по направлению подготовки «Биотехнология».

Литература

1. Коротких, А.А. Мировой рынок биотоплива: состояние и перспективы/А.А. Коротких//электронный научный журнал Россия и Америка в XXI веке – 2008. – №2.
2. Габитов, Р.Р. Исследование влияния ультразвуковой обработки смеси этилового спирта и рапсового масла при получении биодизельного топлива в сверхкритических флюидных условиях/Р.Р. Габитов, Р.А. Усманов, А.Р. Габитова, Ф.М. Гумеров//Вестник Казан. технол. ун-та.- 2012.- Т. 9.- С.62.

3. Куликов, К.В. Получение и исследование жидких биотоплив из биомассы дерева методом пиролиза/К.В. Куликов, В.В.Литвинов, В.Н. Пиялкин, С.А. Забелкин, В.Н. Башкиров// Вестник Казан. технол. ун-та.- 2012.- Т13.- С 197.
4. Устойчивое лесопользование: журн./- М., 2012, № 2 (31).- С.38-39.
5. Габитов, Ф.Р. Экспериментальное исследование сверхкритической экстракции водорослей/Ф.Р. Габитов, Р.А.Усманов, Л.Ю. Яруллин, Ш.А. Бикташев, Р.Р. Гайфуллина, А.В. Маряшев// Вестник Казан. технол. ун-та.- 2012.- Т 9.- С. 67.
6. Биотопливо из водорослей - от большой нефти к большому водорослям. (<http://venture-biz.ru/tekhnologii-innovatsii/207-biotoplivo-iz-vodorosley>)
7. Международное энергетическое агентство /Саудовская Аравия и Россия прощаются с нефтяным лидерством.12.11.2012 (<http://top.rbc.ru/economics/12/11/2012/824600.shtml>)
8. Рощина, О.С., Влияние химических факторов на биоденоз активного ила в процессе биологической очистки сточных вод органических производств/О.С. Рощина, Т.П. Павлова, С.В. Фридланд// Вестник Казан. технол. ун-та.- 2012.-Т.10.- С. 190.
9. США разрабатывает технологию производства топлива из водорослей. 11.04.2012 (http://www.cleandex.ru/news/2012/04/11/ssha_razrabatyva_et_tekhnologiyu_proizvodstva_topлива_iz_vodoroslyei#.UKV0jM2JmU)
10. Саликеева, С.Н. Обзор методов получения альтернативной энергии/С.Н. Саликеева, Ф.Т. Галеева// Вестник Казан. технол. ун-та.- 2012.-Т.8.- С.57.
11. Водоросли- топливо будущего? 05.12.2007 (http://first.renewable.com.ua/index.php?art_id=30)
12. Нанотехнологии для получения биотоплива из водорослей.07.12.09 (<http://www.priroda.su/item/1244>)
13. Algae fuel. (http://en.wikipedia.org/wiki/Algae_fuel)
14. Фрегат ВМС США тестирует биотопливо из водорослей.22.03.2012. http://rnd.cnews.ru/news/line/index_science.shtml?2012/03/19/481956)
15. Топливо из водорослей будет вдвое дешевле солянки. 14.11.2012 (<http://lifenews.ru/news/106181>)
16. Schwartz, David A.I.M. Interview: ASU's Dr. Milton Sommerfeld /David Schwartz //AlgaeIndustryMagazin. 28.10.2012 (<http://www.algaeindustrymagazine.com/aim-interview-asus-dr-milton-sommerfeld>)
17. Arizona. AZCATI. (www.azcati.com)
18. Arizona. LARB. (<http://larb.asu.edu>)
19. Васильев, Р.Г. Перспективы развития производства биотоплива в России. Сообщение 1: биодизель/Р.Г. Васильев//Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. – 2007. – Т. 3. – № 1. – С. 47–54.