

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭТАНОЛА ИЗ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ РАСТЕНИЙ РОДА *HERACLEUM*

С.С. Доржиев, И.Б. Патева

*В статье затронута проблема, заключающаяся в выборе культуры для получения биотоплива в нашей стране. Описан метод решения - использовать в качестве сырья зеленую массу растений рода *Heracleum*. Высокое содержание в зеленой массе сахаров и высокая урожайностью позволит получать дешевое биотопливо в приемлемых количествах, которым можно обеспечить не только внутреннюю потребность, но и стать достойным экспортером биоэтанола на мировом уровне. Одновременно сбор дикорастущих растений рода *Heracleum* позволит ограничить их повсеместное неконтролируемое распространение и вредоносность.*

*Ключевые слова: биоэтанол, бензин, *Heracleum*, сахароза.*

В настоящее время спрос на потребление энергоресурсов в мире стремительно растет, мировые запасы нефти и газа сокращаются, а цены на нефть увеличиваются, поэтому необходимо искать другие альтернативные источники энергии.

Одним из таких альтернативных источников является биоэнергетика, которая сейчас стала быстроразвивающейся самостоятельной отраслью современной мировой энергетики, основанная на получении топлива и энергии из биомассы, в том числе из органических отходов растительного и животного происхождения. Из всего этого сырья можно производить жидкое топливо – биоэтанол и биодизель, биогазы – метан и смесь метана с другими газами, а также твердое топливо – пеллеты и брикеты.

На данный момент большой интерес представляет жидкое биотопливо, которое используется на транспортные цели. Лидирующие позиции в производстве биоэтанола безоговорочно принадлежат Америке: США и Бразилии, развитие биодизельного топлива растет в странах Евросоюза, и лидируют там Германия, Франция, Италия.

Большая часть мирового производства этанола приходится на сахарный тростник (Бразилия) или кукурузу (США). К другим значимым культурам относятся маниока, рис, сахарная свекла и зерновые культуры. Наиболее популярным сырьем для получения биодизеля являются рапс (в странах ЕС), соя (США, Бразилия, Африка), пальмовое, кокосовое и касторовое масло (Индонезия, Филиппины), арахис (Китай, Индонезия, Япония), интерес возрастает также к ятрофе

(Африка). И это далеко не полный список используемых для производства биотоплива продовольственных культур.

Для получения биотоплива можно использовать любое сырье, содержащее масла, значительное количество сахара, или материалы, которые могут быть преобразованы в сахар, например, крахмал или целлюлоза. В таблице 1 приведены культуры используемые для производства биотоплива [6].

В России, к сожалению, на большей части территории, климат диктует ограниченное количество выращиваемых растений на биотопливо. Это зерновые культуры, свекла и отходы свекловичного производства, картофель, сорго, кукуруза, топинамбур, рапс, соя, многолетние травы, но даже из этих культур наибольшая урожайность получают только на юге (центрально-черноземная зона) и культивируются они с целью производства продовольствия и кормов. Выращивание их на биотопливо ведет к переориентировке пахотных площадей и росту цен на продовольствие.

Решить данную проблему можно, используя растения рода *Heracleum*, которые по биологическим и химическим показателям превосходят культивируемые растения, как в России, так и в странах с тропическим и субтропическим климатом. Но есть и отрицательное свойство – вызывает ожоги при контакте с кожей человека и животного и уходит в «дичку» (растет и размножается без участия человека) [1].

В естественной флоре Европы, юго-восточной Африки и Северной Америки насчитывается до 70 видов растений рода

Heracleum, из них 40 видов произрастают в России и странах СНГ. Растения рода *Heracleum* встречается почти везде, но больше его (26 видов) сосредоточено на Северном Кавказе. На территории России наиболее широко распространен один из самых жгучих представителей этих растений *Heracleum sosnovskyi*.

Таблица 1 - Источники биомассы для производства биоэтанола

Культуры	Метод переработки	Биотопливо
Сахароносные культур: Сахарный тростник Сахарная свекла Сладкое сорго	Ферментация и дистилляция	Этанол
Крахмалосодержащие культуры: Кукуруза Ячмень Пшеница Рожь Картофель	Сахарообразование, ферментация и дистилляция	
Целлюлозосодержащие культуры: Просо Ива Тополь Солома с/х культур		
Масличные культуры: Рапс Масличная пальма Подсолнечник Арахис	Экстракция и этерификация	Биодизель

В настоящее время во многих странах их повсеместное распространение принимает катастрофические размеры вследствие широкой и неконтролируемой экспансии в природные экосистемы, сельскохозяйственные и лесные угодья, а также городские насаждения.

Растения рода *Heracleum* относятся к семейству Сельдереиные (*Ariaceae*) или Зонтичные (*Umbelliferae*). Цикл развития: двулетники или многолетники. Корень стержневой с боковыми отверстиями, стебли толстые, полые, округлые, высотой от 1 до 5 м. Листья крупные, розетчатые с длинными зубчатыми черешками. Соцветие – сложный многолучевой зонтик. Плод – дробная двусемянка. Плодики плоские светло-коричневые с крылатками с запахом эфира. Масса 1000 семян – 12-15г. Одно растение, развивающееся в оптимальных условиях и сильно ветвящееся, способно формировать десятки тысяч семян. Ветер, вода, животные и человек – основные переносчики семян на новые территории. Вот почему так легко растения рода

Heracleum занял уже многие тысячи гектаров в разных регионах страны [2].

Растения рода *Heracleum* неприхотливые, холодостойкие, листья и стебли переносят заморозки -5 -6°C, хорошо перезимовывают, при достаточном снежном покрове выдерживает -35 -40°C. Весеннее отрастание листьев на второй и последующие годы начинается сразу после схода снега. Максимальный урожай зеленой массы образуется через 3-4 месяца от всходов. После скашивания быстро отрастают, формируя урожай отавы, который может быть убран еще через 3-4 месяца, т.е. за месяц до наступления морозов. В целом урожайность зеленой массы растений рода *Heracleum* от 500 ц/га и до 2000, в благоприятных условиях произрастания урожайность достигает 2500 ц/га [3].

Зеленая масса растений рода *Heracleum* характеризуется высокими кормовыми достоинствами и своеобразными химическими свойствами. В пересчете на сухое вещество в нем содержатся 10-17% сырого белка, 3-5% – жира, 10-12% – золы и много витаминов А и С. Если количество белка снижается от фазы цветения до фазы бутонизации с 20% до 10%, то содержание сахаров напротив – повышается от 10% до 31%, значительный разброс в содержании сахаров и урожайности обусловлен видовым разнообразием растений рода *Heracleum* и варьированием по фазам вегетационного периода [4].

Так как растения рода *Heracleum* обладают мощным конкурентным потенциалом (быстрый рост, развитие большой надземной массы, неприхотливость к почве, влаге и т.д.), они уже стали аборигенными растениями в нашей стране. Они теснят местные виды травянистых и кустарничковых растений на открытых пространствах - вдоль дорог, линий электропередач, по берегам рек, озер и каналов, на заброшенных землях, пустырях, парках и местах массового отдыха людей. В последние годы они окружают деревни, проникают в крупные города, в парки и даже заповедники. Во многих странах борьбу с данными растениями осуществляют следующими методами: 1) ручное или механическое выкапывание стеблекорней; 2) выкашивание; 3) стравливание путем выпаса скота; 4) использование гербицидов; 5) запашка и посев травосмесей или посадка лесных культур [5]. Но данные способы борьбы применяются не повсеместно, особенно трудно проводить эти меры в отдаленных, труднодоступных районах, вследствие чего они малоэффективны. Разработав различные методы использова-

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭТАНОЛА ИЗ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ РАСТЕНИЙ РОДА *HERACLEUM*

ния зеленой массы растений рода *Heracleum* для пользы человека можно ограничить распространение и вредоносность этих растений.

Возможность использовать зеленую массу растений рода *Heracleum* в качестве сырья для производства биоэтанола обусловлено достаточно высоким содержанием в зеленой массе сахаров и высокой урожайностью. Предварительные расчеты показали, что при урожайности 50 т/га и 10% сахаров выход биоэтанола составит от 2500 л/га, при урожайности 200 т/га и 31% сахаров - 29000 л/га, а то и выше. В таблице 2 приведены данные по производству биоэтанола и биодизеля из различного сырья, сравнив полученные результаты эксперимента по выходу биоэтанола из растений рода *Heracleum* с другими культурами можно сказать, что даже

минимальный выход биоэтанола достаточно неплохой результат [6].

Повсеместное распространение растений рода *Heracleum* снижает, по крайней мере, расходы по его выращиванию, а между тем именно себестоимость получения биомассы является важным критерием для рентабельности производства биотоплива.

Для производства биоэтанола сбор зеленой массы необходимо провести в период с конца бутонизации до массового цветения растений, так как в этот период содержится наибольшее количество сахаров.

На рисунке 1 представлена последовательность этапов технологической схемы получения биотоплива из зеленой массы растений рода *Heracleum*.

Таблица 2 - Производство биотоплива из различного сырья

Культура	Урожайность, т/га	Содержание веществ, %	Выход л/т	Выход л/га
Сахарный тростник	65	Сахара 15%	70	4550
Сорго зерно	1,3	Крахмал 60%	380	494
Сахарное сорго	50	Сахара 18%	85	4250
Сахарная свекла	46	Сахара 24%	110	5060
Кукуруза зерно	4,9	Крахмал 65%	400	1960
Рис зерно	4,2	Крахмал 70%	430	1806
Пшеница зерно	2,8	Крахмал 55%	340	952
Маниока	12	Крахмал 24%	180	2070
Соя	2,7	Масло 22%	205	552
Подсолнечник	2,2	Масло 52%	441	970
Масличная пальма	17,8	Масло 25%	230	4092
Рапс	3,5	Масло 45%	435	1520
Топинамбур	60	Сахара 14%	67	4020
Топинамбур клубни	40	Сахара 22%	101	4040
Картофель клубни	20	Крахмал 20%	115	2400
Растения рода <i>Heracleum</i>	50-200	Сахара 10-31%	47-145	2500-29000

Растения сначала измельчают, чтобы облегчить дальнейшее отжатие из него сока. Затем он поступает на отжимный пресс. Обычно растения отжимают дважды, смачивая между первым и вторым разом водой, чтобы разбавить содержащуюся в жоме сладкую жидкость (мацерация). Максимально

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК №2/2 2011

возможная выжимка 90-93% всего содержащегося в стеблях сахара при малом разжижении сока. Отжатый сок проходит через фильтр, где отделяются примеси, мелкие кусочки стеблей и т.п. Твердая отжатая фракция идет на производство твердого биотоплива (пиллет, брикетов).

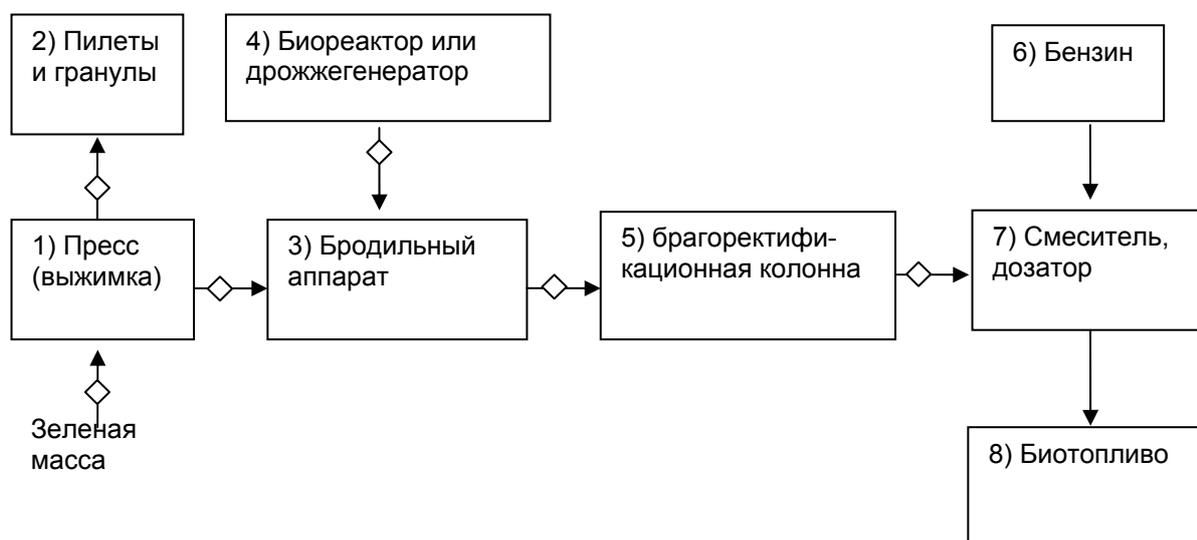
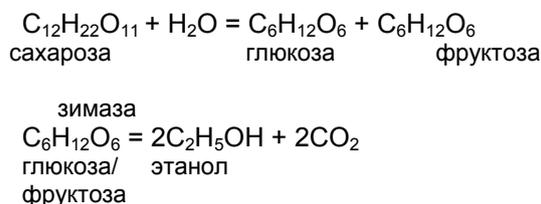


Рисунок 1-Технологическая схема получения биотоплива из зеленой массы растений рода *Heracleum*

Часть отжатого сока отбирается и подается в дрожжегенератор для культивирования дрожжей, остальное смешивается с закваской в бродильном аппарате.

Для брожения в растительный сок добавляют культуру *Saccharomyces cerevisiae*, которые благодаря своим ферментам (инвертазы и зимазы) перерабатывают сахарозу в этанол.



В хорошо сбродившем продукте содержание этанола должно составлять не менее 10%, но и не более 13%. Концентрация остаточных сахаров - не более 0,45%, кислотность - не более 0,2%. На выход этанола, скорость его образования и физиологическое состояние культуры *Saccharomyces cerevisiae* большое влияние оказывает их концентрация в продукте брожения. Оптимальной концентрацией является 15-20 г в 1 л сброживаемого продукта. Это количество дрожжей быстро сбродивает сахар, обычно в течение 6-7 ч, и выход этанола достигает 57-59 л из 100 кг сброживаемых сахаров.

Далее сбродивший продукт идет на перегонку, метод основан на том, что этанол и вода имеют разную температуру кипения. Если вода при нормальных условиях закипает при температуре в 100 градусов, то этило-

вому этанолу нужно для этого 78°C. Помимо воды и этанола, сбродивший продукт содержит массу примесей. Легкие начинают закипать при температуре в 68°C, а тяжелые при 85°C.

Именно поэтому при перегонке сброживаемого продукта важно добиваться такой температуры, при которой этанол уже кипит, а сивушные масла еще нет.

На выходе из брагоректификационной колонны получается этанол крепостью не более 96-96,2 %. По техническим требованиям для смесей с повышенным (более 10%) содержанием биоэтанола в моторном топливе нужно использовать абсолютный этанол, то есть полностью обезвоженный.

Оставшаяся барда идет на корм животным, так как сохранила все составные части исходного сырья, за исключением сахара, и дрожжи. Барду сушат, направляя затем на заводы, производящие комбинированные корма. На фильтрате (жидкой части) барды выращивают специальные расы кормовых дрожжей – актиномицеты, продуцирующие антибиотик биомидин и одновременно витамин В12, используемые в животноводстве.

Полученный на ректификационной колонне биоэтанол смешивается с бензином, в результате чего на выходе получаем автомобильное биотопливо. Режим дозирования бензина устанавливается в зависимости от желаемой марки топливной смеси: 1) Е5, Е7, Е10 - смеси с низким содержанием этанола (5, 7 и 10 весовых процентов, соответственно), наиболее распространенные в наши дни. В этих случаях добавка этанола не только

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭТАНОЛА ИЗ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ РАСТЕНИЙ РОДА HERACLEUM

экономит бензин путём его замещения, но и позволяет удалить вредную окисгенирующую добавку МТБЭ, 2) E85 - смесь 85 % этанола и 15 % бензина. Стандартное топливо для т. н. «Flex-Fuel» машин, распространённых, в основном в Бразилии и США, и в меньшей степени - в других странах. Из-за более низкой энергоплотности продаётся дешевле, чем бензин. 3) E95 - смесь 95 % этанола и 5 % топливной присадки, 4) E100 - под E100 подразумевают стандартную азеотропную смесь этанола (96 % C₂H₅OH и 4 % воды, (по весу); 96,5 % и 3,5 % в объёмных процентах)

Выводы

В нашей стране на большей части территории климат умеренный или умеренно-континентальный, поэтому выращивание одновременно высокоурожайной, достаточно сахароносной или крахмалистой культуры даже не для производства биотоплива, а лишь на продовольственные цели очень трудно и это требует не малых затрат.

Возможность использовать зеленую массу растений рода *Heracleum* в качестве сырья для производства биоэтанола обусловлено достаточно высоким содержанием в зеленой массе сахаров и высокой урожайностью. Предварительные расчеты показали, что выход биоэтанола составит от 2500 до 29000 л/га, а то и выше. Даже при минимальном выходе биоэтанола из дикорастущих растений рода *Heracleum* по сравнению со специально выращиваемыми продовольственными культурами это приемлемый результат.

Используя такие перспективные растения как *Heracleum*, которые по биологическим и химическим показателям превосходит

культивируемые растения, как в России, так и в странах с тропическим и субтропическим климатом, можно решить проблему рентабельности производства биотоплива в России, одновременно сбор дикорастущих растений рода *Heracleum* позволит ограничить их распространение и вредоносность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградова, Ю.К. Внимание: борщевик Сосновский растение из «Черной книги»/ Ю.К. Виноградова- М, -2009 г.

2. Ламан, Н.А. Гигантские борщевики – опасные инвазивные виды для природных комплексов и населения Беларуси / Н.А. Ламан, В.Н. Прохоров, О.М. Масловский. Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси.: Минск, 2009. – С. 40.

3. Кулешов, Н.И. Разработка приемов возделывания борщевика Сосновского в условиях центральных районов Нечерноземной зон. Автореферат диссертации. М.,-1990 г

4. Нильсен, Ш. Коллектив авторов «Практическое пособие по борьбе с гиганскими борщевиками (на основе европейского опыта борьбы с инвазионными сорняками)»/ред. Ш. Нильсен, Г.П. Равн, В. Нетвинг, М. Вэйд. Hoersholm Denmark, 2005.-43 с.

5. Социперова И.Ф. Борщевики флоры СССР, Л.: Наука, 1984 г.

6. Интернет источники:
<http://www.fao.org/docrep/.htm>

Доржиев С.С., к.т.н., зам. начальника отдела комплексных исследований и систем возобновляемых источников энергии, ГНУ ВИЭСХ, E-mail: dss61@mail.ru;

Патеева И.Б., ГНУ ВИЭСХ, аспирант отдела комплексных исследований и систем возобновляемых источников энергии, E-mail: patinna86@mail.ru.