

УДК 574:573:621.311

## Оценка эффективности возделывания энергетических культур как источников биотоплива

Канд. биол. наук **Родькин О.И.** aleh.rodzkin@rambler.ru

**Шабанов А.А.** alexandr.fat@mail.ru

Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова БГУ  
Республика Беларусь, г. Минск, 220070, ул. Долгобродская 23

**Родькин А.О.** antoxa.rodkin@gmail.com

Трест «Белпромналадка»

Республика Беларусь, 220113, г. Минск, ул. Б. Хмельницкого, 8

*Интерес к возделыванию энергетических культур, биомасса которых может быть использована в качестве возобновляемого топлива, в европейских странах возник в 70-е годы прошлого века, что было связано с ростом цен на традиционные энергоносители. Рост площадей энергетических культур стимулировался политическими решениями на международном уровне, в частности такими документами как План развития возобновляемой энергетики в Европе и Киотский протокол. После определенного спада, площади посадок энергетических культур в странах ЕС и Северной Америки стабилизировались. Наиболее значительные площади в Европе занимает быстрорастущая ива. Окупаемость первоначальных затрат необходимых для организации плантации ивы зависит от направлений использования биомассы. При замене древесины традиционных энергоносителей (природный газ) по нашим расчетам простой срок окупаемости составляет 3,8 года и дисконтированный – 4,7 года, что соответствует времени уборки первого урожая биомассы. При непосредственной продаже биомассы на рынке в качестве топлива срок окупаемости увеличивается до 6-11 лет, что соответствует второму или третьему сроку уборки (при трехлетнем цикле). Себестоимость единицы энергии полученной из древесины ивы, ниже по отношению к другим энергетическим культурам, но в 1,5 раза и в 1,8 раза выше, чем соответственно из биомассы естественной болотной растительности и соломы. Тем не менее, дополнительный интерес к посадкам ивы обуславливается их природоохранным значением.*

**Ключевые слова:** биотопливо, энергетические культуры, рынок, себестоимость, период окупаемости.

DOI:10.17586/2310-1172-2016-9-4-102-110

---

## The assessment of the efficiency of energy crops production as a biofuel sources

Ph.D. **Rodzkin O.I.** aleh.rodzkin@rambler.ru

**Shabanov A.A.** alexandr.fat@mail.ru

International state ecological institute of A.D. Sakharov of BGU  
Republic of Belarus, Minsk, 220070, Dolgobrodskaya St. 23

**Rodzkin A.A.** antoxa.rodkin@gmail.com

Republic of Belarus, 220113, Minsk, st. of B. Khmelnytskyi, 8  
Trust «Belpromnaladka»

*The interest for production of energy crops, which biomass may be used as renewable fuel have been grown in 70 years of last century after dramatically rising price of fossil fuels. The energy crops growing have been also stimulated by environmental factors and approval some International political initiatives, like White Paper for a Community Strategy and Action Plan and The Kyoto protocol. After some decreasing, the area of energy crops in EU and North America countries are stabilized. The biggest area in Europe is occupied by fast growing willow. The payback period for startup costs depends of the biomass using. In the case of replacement gas for wood the simple payback period for company will be 3,8 years, and discounted payback period – 4,7 years, or first harvesting of willow biomass. In the case of direct selling of wood to companies the payback period for startup costs will increase to 6-11 year, or second and even third harvesting of willow biomass. The cost price of energy from willow biomass lowers to compare to other energy crops, but higher to compare to cereal straw, and natural wetlands biomass. Nevertheless, interest to willow plantations is supported by high nature protection potential of trees.*

**Keywords:** biofuel, energy crops, market, cost price, payback period.

**Введение**

*Энергетические культуры* это сельскохозяйственные культуры, выращиваемые для энергетических нужд [1]. Традиционными энергетическими культурами являются кукуруза и сахарный тростник, которые выращиваются для производства этанола в промышленных масштабах, рапс для получения биодизеля, однолетние и многолетние травы: например, тростник, мискантус, солома зерновых культур, а так же быстрорастущие древесные культуры или энергетический лес для производства биомассы. Для умеренного климатического пояса Европы наибольший интерес представляют быстрорастущие виды ивы и тополя, остатки зерновых культур, мискантус, канареечник, рапс. Каждая из этих культур имеет свои особенности с точки зрения типа биотоплива, условий выращивания, требований к экологическим факторам и т.д. Коммерческие плантации энергетических культур в Европе появились в 70-е годы прошлого века, что было связано как с растущим интересом общества к экологическим проблемам в целом, так и ростом цен на традиционные энергоносители (рис. 1).

Резкий скачок цен с 1970 по 1980 год стимулировал поиск альтернативных вариантов для энергообеспечения, особенно в странах, не имеющих в наличии собственных ресурсов в достаточном количестве. Подписание Киотского протокола (1997 год) обусловило дальнейший интерес к возобновляемой энергетике, в значительной степени связанный с необходимостью сокращения выбросов парниковых газов и перспективы получения углеродных кредитов. Таким образом, с экономической точки зрения определяющим стимулом для использования энергетических культур, так же как и других источников возобновляемой энергии является цена на нефть.

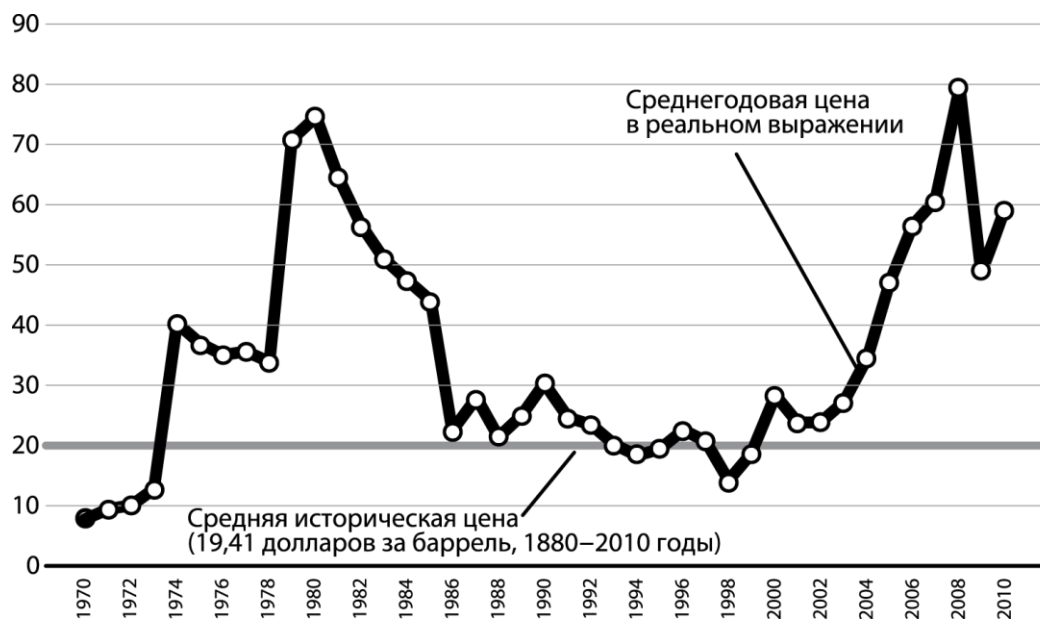


Рис. 1. Динамика цен на сырую нефть в 1970–2010 годах (в ценах 2000 года), доллары за баррель  
 Источник: (Развилки новейшей истории России, 2011) [2]

Первые исследования по оценке перспективы производства биомассы энергетических культур появились в середине 90-х годов прошлого века [3]. В работе обобщались вопросы эффективности выращивания энергетических плантаций ивы в Швеции. Интерес к данной тематике обуславливался резким ростом площадей энергетических плантаций, что определялось рядом обстоятельств:

- введением в 1991 году новой сельскохозяйственной политики в Швеции, которая была ориентирована на снижение цен на зерно и рост субсидий для выращивания энергетических культур;
- ростом налогов на ископаемое топливо;
- развитием рынка биотоплива в Швеции и в Европе [4].

Как результат, за 5 летний период, с 1991 по 1996 год, площади плантаций ивы с почти нулевого уровня достигли 20 000 гектаров. Такой динамике способствовал план развития возобновляемой энергетики в Европе, принятый в 1997 году. В соответствии с ним, доля биоэнергетики в общем объеме энергопотребления должна была вырасти от 3 до 8,5%, при этом половина роста планировалось обеспечить за счет энергетических культур [5]. Вышесказанный План так же обусловил интерес к энергетическому использованию биомассы трав и соломы. В частности, в Ирландии, Польше и других странах увеличилось площади посевов мискантуса [6, 7].

В Дании основной акцент был сделан на использование в качестве биотоплива соломы зерновых культур, где ежегодно на эти цели используется более 1,3 млн. тонн [8, 9].

Инновационным направлением развития биоэнергетики стало использование в энергетических целях биомассы болотных растений, тростника и канареечника [10, 11]. Это направление получило название «палудикультура», что можно приблизительно перевести как затопленное сельское и лесное хозяйство.

Резкое падение цена на традиционные энергоносители, в последние годы негативно сказалось на перспективах использования биотоплива. Тем не менее, площади посадок энергетических культур, среди которых преобладают плантации быстрорастущей ивы, остаются в последние годы достаточно стабильными.

Вопросы экономической эффективности производства биомассы, рассматривались в ряде работ зарубежных исследователей, начиная с момента зарождения рынка биотоплива [12, 13, 14]. Наиболее масштабные исследования по оценке себестоимости биотоплива полученного на основе ряда энергетических культур проведены в Швеции [15]. Результаты исследований подтверждают экономическую эффективность плантаций ивы по сравнению с другими энергетическими культурами. При сложившихся экономических и рыночных условиях наиболее низкая себестоимость имела место для ивы – 4–5 Евро за ГДж, себестоимость энергии произведенной из биомассы тополя составила 5–5–6 €/ГДж, конопли – 8,6–9 €/ГДж, канареечника 6,4–7 €/ГДж, мискантуса – 7,9–8,45 €/ГДж, тритикале – 6,7–7,1 €/ГДж.

Krasuska E. и Rosenqvist H. изучали экономические аспекты использования ивы, мискантуса и тритикале на энергетические цели в условиях Польши [16]. Установлено, что при сложившихся в стране условиях рынка сельскохозяйственной продукции, более высокая рентабельность характерна для производства единицы энергии из древесины ивы. Авторы отмечают, что в условиях нестабильности цен на рынке зерна, энергетические культуры являются вполне конкурентоспособными по отношению к зерновым культурам.

Начиная с 90-х годов прошлого века, площади плантаций энергетических культур стали расти в США и Канаде, чему способствовала энергетическая политика государств, направленная на выделение дополнительных субсидий. В Канаде северных и центральных штатах США основной акцент был сделан на выращивание ивы и в южных штатах – тополя. По результатам исследований была разработана математическая модель, которая позволяет оценить себестоимость и рентабельность производства биомассы [17].

Основной целью наших исследований представленных в рамках данной статьи, является оценка целесообразности возделывания энергетических культур для производства биомассы в условиях Союзного государства.

### Материалы и методы исследований

Исследования по оценке эффективности производства различных видов биомассы (древесина ивы, солома зерновых культур, биомасса многолетних трав) на энергетические цели проводились в течение ряда лет на экспериментальных участках в Республике Беларусь.

Энергетические плантации ивы выращивались с 2006 года на 4 почвенных разностях (дерново-подзолистые суглинистые почвы, дерново-подзолистые супесчаные, выработанные торфяники, деградированные торфяные почвы) в южной, центральной и северной агроклиматических зонах страны). Для расчета экономической эффективности использовалась интерактивная модель, разработанная по результатам исследований [18].

Расчет экономической эффективности использования соломы зерновых культур на энергетические цели проводился на базе хозяйств Минской области. Технология возделывания зерновых соответствовала нормативным требованиям для центральной климатической зоны страны [19]. На основе технологической карты разработана интерактивная модель для расчета экономических показателей. [20].

Исследования по оценке продуктивности естественных многолетних трав проводились на выработанных торфяниках предприятия УП «Лидское», Лидский район. Расчет себестоимости проводился на основе схемы продукционной системы жизненного цикла биомассы состоящей из 9 основных единичных процессов.

Для расчета себестоимости единицы энергии, которую можно получить из биомассы древесины, соломы зерновых культур и многолетних трав проводились измерения удельной теплоты сгорания [21, 22].

### Результаты исследования и обсуждение

В качестве основных показателей для расчета экономической эффективности принимались результаты, полученные экспериментальным путем. Высшая теплота сгорания надземной части древостоя ивы в среднем составила 18500 кДж/кг. Это соответствует результатам, полученным для древесины ивы другими исследователями. Максимальная удельная теплота сгорания древесины ивы по результатам экспериментов проведенных в Швеции составила от 18,3 до 19,7 МДж/кг, в зависимости от сроков уборки и клонов ивы [23].

Средняя урожайность древесины ивы в наших экспериментах составила около 50 тонн с гектара при влажности 45 %, при трехлетнем цикле уборки биомассы или 9,2 тонны в пересчете на год и на сухое

вещество. По данным зарубежных исследователей, урожайность древесины ивы может варьировать от 9 до 15 тонн в год в пересчете на сухую биомассу, в зависимости от условий выращивания, почвы, клона и т.д. В условиях Ирландии этот показатель составлял от 10 т/га/год (David Stylesa, 2007) до 14,5 т/га/год (David Stylesa, 2008). Результаты исследований проведенных в Северной Ирландии показали, что урожайность ивы на энергетических плантациях, в среднем, составила около 12 т/га/год (H. Rosenqvista, M. Dawson, 2005). На энергетических плантациях в Польше урожайность ивы при трехлетнем цикле выращивания составляла около 9 т/га/год (Karin Ericsson и др, 2006). По итогам испытаний на ряде экспериментальных участков в США урожайность древесины составляла от 10 до 15 тонн сухой древесины в пересчете на год (Volk T.A, Luzadis V.A, 2009).

Показатели влажности древесины ивы при уборке, согласно экспериментальным данным, полученным в различных экологических условиях, колебались от 45 % (Volk TA, Luzadis VA, 2009) до 50 % (Ledin, 1996).

Экономическая эффективность или рентабельность производства ивы зависят от ее себестоимости и стоимости реализации. Как показали наши расчеты, себестоимость производства биомассы в значительной степени зависит от площади плантации (табл. 1).

Таблица 1

**Экономическая эффективность производства и доработки древесины ивы на искусственных плантациях**

Технология	Площадь посадки, га	Затраты на гектар, \$	Урожайность с гектара в год (на 10 % влажность)	Выручка, \$	Прибыль с гектара \$
Индустриальная без сушки	30	510	12	858	348
	100	365	12	858	493

Затраты на возделывание ивы, транспортировку и измельчение древесины при площади плантации 30 гектаров составляют около 510 долларов в расчете на гектар [30]. Около половины всех затрат на производство биотоплива составляют амортизационные отчисления на эксплуатацию специальной посадочной и уборочной техники, что связано с ее высокой стоимостью и узкой специализацией. Расширение площадей плантации в 3–4 раза по сравнению с базовым вариантом (30 гектар) позволяет увеличить рентабельность производства энергии на 30–50 %. Одним из важнейших экономических показателей для производителя является период (срок) окупаемости капиталовложений – время, в течение которого амортизация и суммы чистой прибыли направляются на возвращение инвестированного капитала.

Наиболее значительные денежные средства необходимо вложить в течение первых 4 лет от момента закладки плантации. До посадки ивы должны быть проведены работы по подготовке почвы, приобретены минеральные удобрения и гербициды, посадочный материал и посадочная машина. Самые серьезные капиталовложения необходимы на 4 год от времени посадки плантации (срок первой уборки), и они связаны с приобретением уборочной техники. Стоимость комбайна составляет от 150 тысяч долларов (BenderMark, производство Швеция), (Biobaler, производство Канада) до 300 тысяч долларов (CaseNewHolland, производство Бельгия). Комбайны BenderMark и Biobaler это узкоспециализированная техника, предназначенная для уборки древесины (ива или другие культуры), поэтому амортизационные отчисления при использовании такой техники напрямую зависят от площади плантации. Комбайн CaseNewHolland может так же использоваться, например, для скашивания кукурузы, и для уборки древесины он должен быть оснащен специальным усиленным сменным хедером 130 FB. Недостаток комбайна в высокой стоимости, преимущество в более широкой специализации, что предполагает лучшую эффективность использования. Конкретный выбор зависит от специализации хозяйства, финансовых возможностей и других условий. Расчетный срок эксплуатации плантации ивы составляет 22 года от момента посадки, что обуславливается количеством циклов уборки урожая древесины. Установлено, что урожайность древесины ивы остается достаточно стабильной величиной в течение 7 циклов выращивания, при трехлетнем периоде времени между скашиванием биомассы (Nathan J. Sleight, Timothy A. Volk, 2016). При дальнейшей эксплуатации плантации урожайность будет снижаться.

Затраты необходимые в течение первых 4 лет эксплуатации плантации ивы при площади 100 гектаров, по нашим расчетам составляют около 3200 долларов на гектар. Эти данные сопоставимы с показателями, приведенными для условий штата Нью-Йорк (США). Среднее для штата Нью-Йорк первоначальное инвестирование необходимое для закладки энергетической плантации ивы составляет 3097 долларов на гектар, включая финансы необходимые собственно для плантации (2709 долларов на гектар), стоимость аренды земли (340 долларов на гектар) и административные расходы – 48 долларов на гектар [17]. При этом, в структуре затрат по сравнению с условиями Беларуси, более значительная доля приходится на аренду земли и заработную плату. И наоборот, существенно ниже амортизационные отчисления на эксплуатацию техники, так как площади коммерческих плантаций ивы только в штате Нью-Йорк составляют несколько тысяч гектаров.



Окупаемость инвестиций может быть рассчитана в зависимости от планов дальнейшего использования биомассы производителем. Если использовать биотопливо на собственные нужды, то его можно рассматривать как замену традиционным энергоносителям, в первую очередь природному газу. Как ни странно, падение цен на ископаемое топливо на мировом рынке мало сказалось на ценах для конкретных потребителей, юридических и физических лиц. Цены на природный газ для юридических лиц в Республике Беларусь составляют от 160 до 280 долларов в эквиваленте за 1000м<sup>3</sup>, в зависимости от категории [32]. С одного гектара плантации ивы можно получить 16,7 тонн древесины в расчете на год, что по удельной теплоте сгорания эквивалентно 3,9 тыс.м<sup>3</sup> природного газа. При усредненной стоимости одной тысячи м<sup>3</sup> газа для юридических лиц 220 долларов, при его замене на древесное топливо потенциальная выручка с гектара плантации составит не менее 858 долларов за год (таблица 1).

*Простой срок окупаемости* представляет собой период, в течение которого чистый поток наличности (ЧПН) нарастающим итогом достигнет положительной величины. При замене древесиной природного газа, простой срок окупаемости первоначальных инвестиций составит 3,8 года, это значит, что затраты окупятся уже первым урожаем биомассы ивы.

*Дисконтированный срок окупаемости* – это период возврата денежных средств с учетом временной стоимости денег (ставки дисконта) [33].

Если принять за основу текущую процентную ставку Национального банка Республики Беларусь, период окупаемости при условии замещения древесиной природного газа увеличится до 4,7 года.

Рынок биотоплива, как в Беларуси, так и в России является крайне нестабильным фактором. Как показывает анализ, цена на древесную щепу с влажностью 30-40% в среднем составляет около 30–40 долларов в эквиваленте. Простой срок окупаемости первоначальных инвестиций при реализации древесины на рынке по этим ценам составит соответственно 7,9 и 5,9 лет, и дисконтированный 11,1 и 7,3 года. Для фермеров США, рентабельность получения биомассы ивы без дополнительных субсидий составляет около 10% [17]. В этом случае срок окупаемости плантации составит 3-4 периода уборки урожая или 10-14 лет. Для поддержки производителей биомассы ивы в стране осуществляется выделение целевых субсидий для стабилизации рыночной стоимости на уровне 60 долларов за тонну условно сухой древесины, что позволяет увеличить рентабельность до 20%, с периодом окупаемости 4-8 лет, что является конкурентоспособным по отношению к традиционным культурам, например зерновым или кукурузе.

Средневзвешенная себестоимость одной тонны древесины ивы влажностью 10 % при площади энергетической плантации 100 га за весь срок ее эксплуатации (22 года) составит 30,5 доллара. Аналогичным образом рассчитывалась себестоимость биомассы соломы и естественных многолетних трав, как других потенциальных источников энергии в агроландшафтах. Сравнительные характеристики биомассы представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Себестоимость одной тонны биомассы из древесины ивы, соломы и естественной болотной растительности**

Вид биомассы	Влажность, %	Степень измельчения, мм	Урожайность, т/га	Себестоимость за тонну
Древесина ивы	10	до 5	12	30,5 долларов
Солома	14	не измельчалась	3	9 долларов
Сено	14	до 5	15,3	13,8 евро

Характеристика и себестоимость видов биомассы представленных в таблице 2 получены на основе результатов экспериментальных исследований с учетом рекомендаций по дальнейшей технологии использования биомассы в энергетических целях. Биомассу соломы целесообразно использовать для непосредственного сжигания в твердотопливных котлах и получения тепловой энергии. Биомассу многолетних трав, со степенью измельчения до 5 мм, рационально использовать для приготовления пеллет и (или) добавления в торфобрикеты. Биомассу древесины ивы можно использовать как непосредственно для сжигания и получения тепловой энергии, так и изготовления пеллет и торфобибрикетов. Для корректной сравнительной оценки, расчеты должны основываться на унифицированных характеристиках биомассы, с учетом удельной теплоты сгорания. Результаты расчетов себестоимости биомассы древесины ивы, соломы и болотной растительности при равных показателях влажности, и степени измельчения, а так же энергии, которая может быть получена при сжигании биомассы в зависимости от теплоты сгорания, представлены в табл. 3. Наиболее высокая удельная теплота сгорания биомассы была у древесины ивы, солома в свою очередь несколько превышает по данному показателю сено болотной растительности. Таким образом, себестоимость единицы энергии полученной из древесины ивы в 1,5 раза и в 1,8 раза выше, чем соответственно из биомассы естественной болотной растительности и соломы, что соответствует данным зарубежных исследователей [34]. В представленных расчетах себестоимости соломы

не учитывались затраты связанные с посевом, уходом и уборкой зерновых культур. Солома принималась во внимание как растительный остаток, который можно использовать на энергетические цели.

Таблица 3

**Себестоимость единицы энергии полученной из биомассы древесины ивы, соломы зерновых культур и сена болотной растительности**

Биомасса	Влажность, %	Степень измельчения, мм	Высшая теплота сгорания, кДж/кг	Себестоимость биомассы, \$/тонну	Себестоимость единицы энергии, \$/ГДж
Древесина	10	До 5	18500	30,5	1,64
Солома	10	До 5	16000	14,4	0,9
Сено	10	До 5	15500	16,4	1,09

Сено получено из естественной болотной растительности, что так же исключает статьи затрат связанные с возделыванием многолетних трав. Несмотря на более высокую себестоимость древесины ивы по сравнению с другими видами биомассы, следует учитывать, что энергетические плантации ивы могут быть заложены на площадях, где нет возможности получить высокий урожай соломы зерновых или сена естественных травостоев по экологическим или экономическим причинам.

### Заключение

Анализ динамики производства биомассы энергетических культур за рубежом показывает, что площади посадок предсказуемо зависят от цен на традиционные энергоресурсы. Резкий скачок цен в 70-х годах прошлого века стимулировал интерес производителей к расширению площадей энергетических культур, что так же поддерживалось энергетической и экологической политикой на международном уровне: принятием Плана развития возобновляемой энергетики в Европе и подписанием Киотского протокола. Наиболее значительные площади среди энергетических культур в европейских странах приходятся на плантации короткоцикловых посадок ивы, площади которой после некоторого падения в начале 21 тысячелетия стабилизировались, что главным образом объясняется сравнительно низкой себестоимостью. Период окупаемости короткоцикловых посадок ивы на энергетические цели зависит от условий использования. В случае замещения древесиной природного газа, что целесообразно при ее использовании производителями на собственные нужды, при сложившихся в Республике Беларусь ценах, простой период окупаемости первоначальных и основных капиталовложений в плантацию ивы составит 3,8 года и дисконтированный – 4,7 года. При реализации древесины на крайне нестабильном рынке биотоплива, простой период окупаемости составит 5,9 лет (при цене 40 долларов за тонну) и 7,9 лет (при цене 30 долларов за тонну), дисконтированный соответственно 7,3 и 11,1 года. В зарубежных странах, стабильность рынка биотоплива поддерживается за счет субсидий, что обеспечивает срок окупаемости древесины ивы, например, в США в течение 4-8 лет, при ее рыночной стоимости 60 долларов за тонну. Себестоимость единицы энергии полученной из древесины ивы, ниже по отношению к другим энергетическими культурами, но в 1,5 раза и в 1,8 раза выше, чем соответственно из биомассы естественной болотной растительности и соломы. Тем не менее, следует учитывать природоохранное значение посадок ивы и то, что энергетические плантации этой культуры могут быть заложены на площадях, где нет возможности получить высокий урожай соломы зерновых или сена естественных травостоев по экологическим или экономическим причинам.

### Литература

1. Развилки новейшей истории России / Егор Гайдар, Анатолий Чубайс. - М.: ОГИ, 2011. — 168 с.
2. Ledin S. Willow wood properties, production and economy. // *Biomass and Bioenergy*. 1996. Vol. 11, No 2/3. 75-83 p.p.
3. Willow growers in Sweden / H. Rosenqvist\*, A. Roos, E. Ling, B. Hektor // *Biomass and Bioenergy* 18 (2000) 137-145
4. European Commission. Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan. Communication from the Commission COM(97)599. Brussels, 1997.
5. Miscanthus and willow heat production - An effective land-use strategy for greenhouse gas emission avoidance in Ireland? / David Stylesa, Michael B. Jonesa // *Energy Policy*. № 36. 2008. P. 97–107.
6. Binfield, J., Donnellan, T., Hanrahan, K., Westhoff, P., 2003. The Luxembourg CAP Reform Agreement: Implications for EU and Irish Agriculture. Teagasc, Dublin, pp. 1–79.

7. Energy 21 the Danish government's action plan for energy // Danish Ministry of Environment and Energy, Copenhagen, 1996. – 125 p.
8. Evald, A. Biomass for energy – Danish Solutions. / A. Evald // Copenhagen: Danish Energy Agency, - 1996. - 38 p.
9. Wichtmann, W. Environmental, Social and Economic Aspects of a Sustainable Biomass Production. / W. Wichtmann, S. Wichmann. // Journal of Sustainable Energy & Environment Special Issue (2011). – P. 77-81.
10. Use of biomass from wet peatland for energy purpose / S.Kundas, W. Wichtman, A.Rodzkin, V. Pashinsky // International and renewable energy sources as alternative primary energy sources in the region: 8 International Scientific Conference, Lviv, 2-3 April 2015, p.77-81
11. Goor, F. ECOP: an economic model to assess the willow short rotation coppice global profitability in a case of small scale gasification pathway in Belgium. / F. Goor, JM. Jossart, JF. Ledent // Environmental Modelling and Software 2000. - 15 - P. 279–92.
12. Market development problems for sustainable bio-energy in Sweden. Environmental and Energy System Studies / P. Helby [et al] // Report no. 38, the BIOMARK project, Lund, 2004.- 43 p.
13. The economics of growing short rotation coppice in the uplands of mid-Wales and an economic comparison with sheep production. / Heaton, R. [et al] // Biomass and Bioenergy (1999), - 17. - P. 59-71.
14. Market development problems for sustainable bio-energy in Sweden. Environmental and Energy System Studies / P. Helby [et al] // Report no. 38, the BIOMARK project, Lund, 2004.- 43 p.
15. Krasuska E., Rosenqvist H. Economics of energy crops in Poland today and in the future // *Biomass and bioenergy* XXX. 2011. - P. 1-11.
16. Thomas Buchholz, Timothy Volk. Profitability of Willow Biomass Crops Affected by Incentive Programs // *Bioenerg. Res., New-York*, 2013, p. 653-664
17. Родькин О.И., Иванюкович В.А., Шабанов А.А. Планирование производства биотоплива из древесины быстрорастущей ивы на основе интерактивной модели // *Вісник Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта*. 2014. № 2(80). С. 39–44.
18. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / Ин. аграр. экономики НАН Беларуси; рук. разработ. В.Г. Гусаков [и др.] - Мн.: Бел. Наука, 2005. - 460 с.
19. Родькин О.И., Бутько А.А., Пашинский В.А., Шабанов А.А. Эколого-экономическое обоснование использования соломы в качестве биотоплива на основе интерактивной модели // *Экологический вестник*. 2014. № 2 (28). С. 115–121.
20. Бутько А.А., Родькин О.И., Пашинский В.А., Крстич Б. Оценка экологических и технологических аспектов использования растительных остатков зерновых и технических культур для получения энергии // *Вісник Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта*, 2015 № 2–3 (86-87), С. 41–46
21. Энергетическое использование клона ивы корзиночной *Salix viminalis valetas gigantia* (Turbo) / О.И. Родькин, В.А. Пашинский, А.А. Бутько, Е.В. Иванова // «Энергоэффективность». - 2014. - № 5. - С. 14-19.
22. Willow wood properties, production and economy / S. Ledin // *Biomass and bioenergy* Vol. 11, No. 213.p p. 75-83. 1996.
23. Current and future financial competitiveness of electricity and heat from energy crops: A case study from Ireland / David Styles<sup>a,b,\_,</sup> Michael B. Jones<sup>a</sup> // *Energy Policy* 35 (2007), p. 4355–4367
24. Energy crops in Ireland: An economic comparison of willow and *Miscanthus* production with conventional farming systems / David Styles<sup>a,\_,</sup> Fiona Thorneb<sup>,</sup> Michael B. Jones<sup>a</sup> // *Biomass and bioenergy* 32 (2008), p. 407– 421
25. Economics of willow growing in Northern Ireland / H. Rosenqvista<sup>\_,</sup> M. Dawson // *Biomass and Bioenergy* 28 (2005), p. 7–14
26. Economics of willow growing in Northern Ireland / H. Rosenqvista<sup>\_,</sup> M. Dawson // *Biomass and Bioenergy* 28 (2005), p. 7–14
27. An agro-economic analysis of willow cultivation in Poland / Karin Ericsson<sup>a,\_,</sup> Ha°kanRosenqvista, EwaGankob, MarcinPisarekb, Lars Nilsson<sup>a</sup> // *Biomass and Bioenergy* 30 (2006), p. 16–27
28. Volk TA, Luzadis VA (2009) Willow biomass production for bioenergy, biofuels, and bioproducts in New York, chapter 11. Solomon and Luzadis (eds). In: *Renewable energy from forest resources in the United States*. Routledge: London. pp 238–260.
29. Rodzkin, A. Renewable biomass production on the base of introduction of fast growing trees plantations as a direction of green economy / A. Rodzkin // *Proceeding of the third Belarus-Korea forum “Science innovation production”*, Minsk, BNTU, 17 October 2014, - P.52-53.
30. Nathan J. Sleight, Timothy A. Volk. Recently Bred Willow (*Salix* spp.) Biomass Crops Show Stable Yield Trends Over Three rotations at Two Sites // *Bioenerg. Res.*9(3), New-York, 2016., P. 782-797
31. Действующие цены на природный газ для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<http://minenergo.gov.by/wp-content/uploads/gaz.pdf> - Дата доступа: 1.12.2016

32. Приказ Министерства экономики Республики Беларусь от 31 марта 1999 г. №25 "Об утверждении Рекомендаций по разработке бизнес-планов инвестиционных проектов" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/> - Дата доступа: 1.12.2016
33. Energy Crop Production Costs in the EU. / H. Rosenqvist, L.J. Nilsson // RENEW Renewable fuels for advanced powertrains. LundUniversity, 2006. - 75 p.
34. Энергетические культуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5\\_%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80%D1%8B](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80%D1%8B) – Дата доступа: 01.12.2016

### References

1. RazvilkinovejshejistoriiRossii / EgorGajdar, AnatolijChubajs. — М.: OGI, 2011. — 168 s.
2. Willow wood properties, production and economy / S. Ledin // Biomass and Bioenergy Vol. 11, Nos 2/3.p p. 75-83. 1996
3. Willow growers in Sweden / H. Rosenqvist\*, A. Roos, E. Ling, B. Hektor // Biomass and Bioenergy 18 (2000) 137-145
4. European Commission. Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan. Communication from the Commission COM(97)599. Brussels, 1997.
5. Miscanthus and willow heat production - An effective land-use strategy for greenhouse gas emission avoidance in Ireland? / David Stylesa,b,\_, Michael B. Jonesa // Energy Policy 36 (2008) 97–107
6. Binfield, J., Donnellan, T., Hanrahan, K., Westhoff, P., 2003. The Luxembourg CAP Reform Agreement: Implications for EU and Irish Agriculture. Teagasc, Dublin, pp. 1–79.
7. Energy 21 the Danish government's action plan for energy // Danish Ministry of Environment and Energy, Copenhagen, 1996. – 125 p.
8. Evald, A. Biomass for energy – Danish Solutions. / A. Evald // Copenhagen: Danish Energy Agency, - 1996. - 38 p.
9. Wichtmann,W. Environmental, Social and Economic Aspects of a Sustainable Biomass Production. / W. Wichtmann, S. Wichmann. // Journal of Sustainable Energy & Environment Special Issue (2011). – P. 77-81.
10. Use of biomass from wet peatland for energy purpose / S.Kundas, W. Wichtman, A.Rodzkin, V. Pashinsky // International and renewable energy sources as alternative primary energy sources in the region: 8 International Scientific Conference, Lviv, 2-3 April 2015, p.77-81
11. Goor, F. ECOP: an economic model to assess the willow short rotation coppice global profitability in a case of small scale gasification pathway in Belgium. / F. Goor, JM. Jossart, JF. Ledent // Environmental Modelling and Software 2000. - 15 - P. 279–92.
12. Market development problems for sustainable bio-energy in Sweden. Environmental and Energy System Studies / P. Helby [et al] // Report no. 38, the BIOMARK project, Lund, 2004.- 43 p.
13. The economics of growing short rotation coppice in the uplands of mid-Wales and an economic comparison with sheep production. / Heaton, R. [et al] // Biomass and Bioenergy (1999), - 17. - P. 59-71.
14. Market development problems for sustainable bio-energy in Sweden. Environmental and Energy System Studies / P. Helby [et al] // Report no. 38, the BIOMARK project, Lund, 2004.- 43 p.
15. Krasuska, E. Economics of energy crops in Poland today and in the future / E. Krasuska, H. Rosenqvist // Biomass and bioenergy XXX (2011), - P. 1-11.
16. Thomas Buchholz,Timothy Volk. Profitability of Willow Biomass Crops Affected by Incentive Programs // Bioenerg. Res., New-York, 2013, p. 653-664
17. Rod'kin, O.I. Planirovanieproduktivnobioplivaizdrevesybystrorastushhej ivy naosnoveinteraktivnojmodeli / O.I. Rod'kin, V.A. Ivanjukovich, A.A. Shabanov // VesnikVicebskagadzjarzhajnağajņiversitjeta. – 2014. - № 2(80). - S. 39-44.
18. Organizacionno-tehnologicheskiennormativyvozdelyvanijasel'skohozjajstvennyhkul'tur: sbornikotraslevyhreglamentov / In. agrar.jekonomiki NAN Belarusi; ruk. razrab. V.G. Gusakov [i dr.] - Mn.:Bel. Nauka, 2005. - 460 s.
19. Jekologo-jekonomicheskoeobosnovanieispol'zovanijasolomy v kachestvebioplivanaosnoveinteraktivnojmodeli / O.I. Rod'kin, A.A. But'ko, V.A. Pashinskij, A.A. Shabanov // Jekologicheskijvestnik. - 2014. - № 2 (28). - S. 115-121.
20. But'ko, A.A., Ocenka jekologicheskikh i tehnologicheskikh aspektov ispol'zovanija rastitel'nyh ostatkov zernovyh i tehnicheskikh kul'tur dlja poluchenija jenergii / A.A. But'ko, O.I. Rod'kin, V.A. Pashinskij, B.Krstich // VesnikVicebskaga zjarzhajnağajņiversitjeta, 2015 № 2-3(86-87), s. 41-46
21. Jenergeticheskoeispol'zovanieklona ivy korzinochnoj Salix viminalis valetas gigantia (Turbo) / O.I. Rod'kin, V.A. Pashinskij, A.A. But'ko, E.V. Ivanova // «Jenergojeffektivnost'». - 2014. - № 5. - S. 14-19.



22. Willow wood properties, production and economy / S. Ledin // Biomass and bioenergy Vol. 11, Nos 213.p p. 75-83. 1996.
23. Current and future financial competitiveness of electricity and heat from energy crops: A case study from Ireland / David Styles<sup>a,b,\_,</sup> Michael B. Jones<sup>a</sup> // Energy Policy 35 (2007), p. 4355–4367
24. Energy crops in Ireland: An economic comparison of willow and Miscanthus production with conventional farming systems / David Styles<sup>a,\_,</sup> Fiona Thorne<sup>b</sup> , Michael B. Jones<sup>a</sup> // BIOMASS AND BIOENERGY 32 (2008), p. 407–421
25. Economics of willow growing in Northern Ireland / H. Rosenqvist<sup>\_,</sup> M. Dawson // Biomass and Bioenergy 28 (2005), p. 7–14
26. Economics of willow growing in Northern Ireland / H. Rosenqvist<sup>\_,</sup> M. Dawson // Biomass and Bioenergy 28 (2005), p. 7–14
27. An agro-economic analysis of willow cultivation in Poland / Karin Ericsson<sup>\_,</sup> Ha°kanRosenqvist, EwaGankob, MarcinPisarek<sup>b</sup>, Lars Nilsson<sup>a</sup> // Biomass and Bioenergy 30 (2006), p. 16–27
28. Volk TA, Luzadis VA (2009) Willow biomass production for bioenergy, biofuels, and bioproducts in New York, chapter 11. Solomon and Luzadis (eds). In: Renewable energy from forest resources in the United States. Routledge: London. pp 238–260.
29. Rodzkin, A. Renewable biomass production on the base of introduction of fast growing trees plantations as a direction of green economy / A. Rodzkin // Proceeding of the third Belarus-Korea forum “Science innovation production”, Minsk, BNTU, 17 October 2014, - P.52-53.
30. Nathan J. Sleight, Timothy A. Volk. Recently Bred Willow (Salix spp.) Biomass Crops Show Stable Yield Trends Over Three rotations at Two Sites // Bioenerg. Res.9(3), New-York, 2016., P. 782-797
31. Dejstvujushhiecenynaprirodnyjgazdljajuridicheskikhliciindividual'nyhpredprinimatelej v Respublike Belarus' [Elektronnyjresurs]. – Rezhimdostupa: <http://minenergo.gov.by/wp-content/uploads/gaz.pdf> - Data dostupa: 1.12.2016
32. PrikazMinisterstvajekonomikiRespubliki Belarus' ot 31 marta 1999 g. №25 "Ob utverzheniiRekomendacijporazrobotkebiznes-planovinvesticionnyhproektov" [Elektronnyjresurs]. – Rezhimdostupa: <http://www.pravo.by/> - Data dostupa: 1.12.2016
33. Energy Crop Production Costs in the EU. / H. Rosenqvist, L.J. Nilsson // RENEW Renewable fuels for advanced powertrains. LundUniversity, 2006. - 75 p.
34. Энергетические культуры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5\\_%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80%D1%8B](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5_%D0%BA%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%83%D1%80%D1%8B) – Дата доступа: 01.12.2016

*Статья поступила в редакцию 28.11.2016 г.*