

БИОМАССА ТОПОЛЕЙ ПОДРОДА *EUROPULUS DODE* ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОЭНЕРГИИ

А.П. ЦАРЕВ, проф., ПетрГУ; гл. науч. сотр. «ВНИИЛГИСбиотех», д-р с.-х. наук^(1, 2),
В.А. ЦАРЕВ, доц., «ВНИИЛГИСбиотех», канд. с.-х. наук⁽²⁾

antsa_55@yahoo.com; tsarev@psu.karelia.ru, tsarevvadim2013@gmail.com

⁽¹⁾Петрозаводский государственный университет,
185910 г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33, Карелия, Россия,

⁽²⁾Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, 394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова, 105

Представлен сравнительный анализ теплотворной способности, энергетического потенциала, количества необходимого сырья для выработки 1 ГДж энергии, стоимости одной тонны сырья и примерной оценки стоимости сырья (угля, мазута, сырой нефти и дровяной древесины), необходимого для выработки 1 ГДж энергии. Показано, что наиболее дешевым источником тепловой энергии является древесина. На основании фактической продуктивности стволовой древесины у 25-летних деревьев разных морфолого-систематических групп (МСГ) тополей, выращенных в сортоиспытательных насаждениях Центрального Черноземья, рассчитаны величины производства биомассы и потенциальные уровни тепла и энергии, выделяемые при сгорании. В зависимости от генетической ценности сортов и клонов тополей разных МСГ усредненные величины по группам колебались для запаса от 220 до 630 м³/га, биомассы стволовой древесины – от 100 до 280 т/га, количества тепла, выделяемого при сгорании – от 320 до 940 Гкал/га, энергетического потенциала – от 1390 до 4030 ГДж/га. Наибольший потенциал установлен у евро-американских гибридов черных тополей (среднее значение для 8 разных сортов этой МСГ составило 4030 ГДж/га). Однако в пределах данной МСГ выделены сорта, которые существенно превышают и эту величину. В целом, изучение продуктивности насаждений и количества производимой биомассы тополей различных морфолого-систематических групп, а также расчеты их энергетического потенциала показали их высокую перспективность для культивирования в качестве возобновляемого источника биоэнергии.

Ключевые слова: тополя, биомасса, биоэнергия, возобновляемые источники энергии

В последние десятилетия в мировом масштабе ведутся активные исследования и осуществляются, как в пилотном, так и в реальном эксплуатационном режиме производства энергии, практические действия по замене ископаемых источников энергии возобновляемыми ресурсами. Считается, что это вызвано энергетическим кризисом 1970-х годов. Среди возобновляемых источников энергии одно из первостепенных мест занимает использование древесной биомассы. Первоначально такие исследования велись в отдельных странах. Затем в 1978 г. было создано Международное энергетическое агентство (International Energy Agency–IEA). В настоящее время оно объединяет 20 стран. Мировыми лидерами по использованию биоэнергии являются США, Германия, Китай, Бразилия, Индия [5, 12, 13, 18].

Научные исследования по использованию биомассы для получения биоэнергии особенно активно проводятся в Европе. Так, по данным Европейского статистического агентства Eurostat [17], доля возобновляемой энергии в странах Европейского Союза в 2011 г. была равна 10 %, или 7,077 петаджоулей от всей потребляемой там энергии. На-

иболее значимым источником возобновляемой энергии является древесное сырье, доля которого среди возобновляемых источников составляла 48 %, или 3,378 петаджоулей.

Для производства биомассы в мире создаются специальные плантации. К настоящему времени 15–20 % мирового древесного топлива получают на этих плантациях. Всего в мире создано 8,6 млн га плантационных лесов энергетического назначения. Они представлены большей частью быстрорастущими видами древесных пород (*Populus*, *Salix*, *Eucalyptus* и *Acacia*) [14].

В России также принимаются некоторые меры по увеличению объемов использования биотоплива, источником которого является биомасса [5, 11].

В регионах умеренного климата среди источников древесины для производства биоэнергии особый интерес вызывают тополя как самые быстрорастущие там деревья [5, 15, 16].

В данном сообщении приводятся результаты, полученные при исследовании в подроде настоящих тополей (*Europulus*

Dode), в Центральном Черноземье Европейской России.

Целью работы является исследование возможностей производства биомассы тополями, принадлежащими к разным морфолого-систематическим группам, и расчет их потенциальной биоэнергетической ценности.

Материалы и методы

Материалы для исследования получены на многолетнем опытном объекте – популетуме – в Семилукском питомнике Воронежской области. Почва – обыкновенный чернозем. Размещение растений 5×4 м. Схема опыта включала 4 повторения. В каждом повторении изучалось по 80 клонов и сортов. Размер делянок каждого клона в повторении составлял 120 м², или 480 м² на один генотип в опыте, в целом. Клоны и сорта были сгруппированы в морфолого-систематические группы (МСГ) в зависимости от их систематической принадлежности и формы кроны. Размещение клонов и сортов в МГС и МГС в пределах повторений – рандомизированное [10].

Запас определялся в возрасте количественной спелости (около 25 лет). Для расчета биомассы использовались имеющиеся данные по плотности древесины тополей. В целом, плотность воздушно-сухой древесины тополя колеблется от 300 кг/м³ (для итальянского клона 'I-214') до 550 кг/м³ (для евро-американского гибрида черных тополей 'Robusta'). Кроме того, даже в пределах одного ствола колебания в плотности древесины могут составлять до 200 кг/м³ [12]. Учитывая, что плотность воздушно-сухой древесины тополя обладает столь высокой изменчивостью, для расчета была принята величина, представленная в работе В.А. Усольцева, составляющая 450 кг/м³ [9].

Для оценки энергетического потенциала тополевой древесины и сравнительных показателей по другим источникам энергии использовался анализ литературных и электронных интернет-ресурсов. Из этих же источников брались и различные необходимые переводные коэффициенты. В частности, величина теплотворной способности угля,

мазута и сырой нефти взята из электронного ресурса [2], а дровяной древесины – из [7]. Стоимость 1 т сырья – из [8] (для угля), [6] (для мазута), [3] (для дровяной древесины) и [4] (для сырой нефти).

Результаты и их обсуждение

Как уже отмечено, среди различных возобновляемых источников биоэнергии (гидроэнергия, энергия ветра, геотермальная и солнечная энергия, биомасса), наиболее распространенным ресурсом является древесная биомасса. В принципе, в том, что древесина является лидером среди возобновляемых источников энергии, ничего удивительного нет, хотя бы потому, что это наиболее привычный ресурс.

Кроме того, сравнение стоимости производства энергии, получаемой при сжигании различных материалов, показывает значительную экономическую эффективность при использовании древесного сырья (табл. 1).

Данные табл. 1 показывают, что из всех сравниваемых видов сырья, используемых для получения энергии, дровяная древесина оказывается самым дешевым. С другой стороны, известно, что использование древесины для производства энергии значительно уступает другим видам топлива. Возможно, сказывается тот фактор, что затраты на добычу, доставку, логистику, удобство использования и другие параметры для угля, мазута и нефти могут быть предпочтительнее дров.

Однако новые технологии могут значительно улучшить освоение древесного сырья. В частности, если использовать для производства биоэнергии специально подготовленные материалы, например пеллеты, чипсы, этанол и др. [5, 12].

Кроме всего прочего, у древесного сырья есть еще одно неоспоримое преимущество перед другими видами топлива – его регулируемая возобновляемость. И это является одним из основных положений его перспективности.

В возрасте количественной спелости средний запас стволовой древесины насаждений тополей в зависимости от их морфолого-

Т а б л и ц а 1

Некоторые показатели потенциального энергопроизводства из различных видов сырья
Certain indicators of potential energy production from various raw materials

Виды сырья	Теплотворная способность, Ккал/кг	Энергетический потенциал, МДж/кг	Количество сырья, необходимого для выработки 1 ГДж, кг	Стоимость 1 т сырья, руб.	Примерная стоимость сырья, необходимого для выработки 1 ГДж энергии, руб.
Уголь	7000	29,3	34	3650	124
Мазут	9750	40,9	24	15000	360
Дровяная древесина	3300	14,2	70	890	62
Нефть сырая (Brent)	10000	41,9	24	23642	567

Т а б л и ц а 2

Средние величины биомассы и ее биоэнергии у разных МСГ настоящих тополей в Центральном Черноземье, возраст 25 лет
The average values of biomass and its biological energy in various 25-year poplar MSG in the Central Chernozem region

Морфолого-систематические группы тополей	Запас стволовой древесины, м ³ /га	Биомасса стволовой древесины, т/га	Примерное количество тепла, выделяемое при сгорании, Гкал/га	Энергетический потенциал тополей, ГДж/га
Черные тополя с пирамидальной кроной	237	107	353	1519
Европейские черные тополя с раскидистой кроной (осокорь)	218	98	323	1392
Евро-американские гибриды черных тополей	632	284	937	4033
Бальзамические тополя и их гибриды	376	169	558	2400
Межсекционные гибриды настоящих тополей	466	210	693	2982

систематической группы на Семилукском полуострове колебался от 217 до 632 м³/га [10].

С учетом плотности в 0,45 г/см³ биомасса стволовой древесины у разных МСГ тополей варьировала от 98 до 284 т/га (табл. 2).

Средняя теплотворная способность древесины составляет около 3300 Ккал/кг. Из 1 кг воздушно сухой древесины может выделяться по разным данным от 13,8 [3] до 14,6 МДж энергии [1]. То есть, среднее значение этой величины может составлять около 14,2 МДж. В более поздних литературных источниках приводятся и более высокие значения низшей теплоты сгорания. Так, по данным, приведенным в работе Матросова и др. [5], конкретно для тополей она может составлять 18 МДж/кг. С учетом разброса данных в настоящей работе использовались более скромные показатели в размере 14,2 МДж/кг. Следовательно, из имеющейся на 1 га биомассы стволовой древесины тополей в зависимости от сорта возможно получить около 323–937 Гкал тепла или от 1392 до 4033 ГДж энергии.

Как видно из данных табл. 2, наибольшим энергетическим потенциалом обладает группа евро-американских гибридов черных тополей с раскидистой кроной. К сожалению, их неустойчивая зимостойкость не позволяет продвигать их далеко на север. Из более зимостойких тополей на второе место выдвинулись межсекционные гибриды черных и бальзамических тополей. Затем идут еще более зимостойкие бальзамические тополя. Черные европейские тополя оказались в данном испытании на последних местах, возможно, из-за их низкой сохранности, как показали более ранние исследования [10].

Еще более внушительные результаты по производству стволовой биомассы и количеству производимой из нее энергии показали наиболее перспективные культивары в каждой группе тополей (табл. 3).

Как показано в табл. 3, наиболее продуктивные культивары оказались в секции евро-американских тополей. Так, стволовая

**Характеристика продуктивности перспективных для ЦЧР клонов
и сортов тополей в 25-летнем возрасте**

**The productivity characteristics of 25-year poplar species and clones which
have good chances to grow in the Central Chernozem region**

Наименование тополя	Инв. №	Запас стволовой древесины, м³/га	Биомасса стволовой древесины, т/га	Примерное количество тепла, выделяемое при сгорании, Гкал/га	Энергетический потенциал тополей, ГДж/га
Черные тополя с пирамидальной кроной					
Пионер	42	410	185	611	2627
Черные тополя с раскидистой кроной					
Брабантика-175	158	512	210	693	2982
Вернирубенс	54	612	251	828	3564
Гельрика	80	824	338	1115	4800
Мариландика-239	34	624	256	845	3635
Регенерата	78	1151	472	1558	6702
Регенерата	79	976	400	1320	5680
Робуста-236	156	414	170	561	2414
Серотина	19	572	235	776	3337
Бальзамические тополя					
Волосистоплодный	83	428	175	578	2485
Китайский	133	423	173	571	2457
Межсекционные гибриды настоящих тополей					
Воронежский гигант	94	569	233	769	3309
Берлинский	130	570	234	772	3323
Гибрид – 10	106	442	181	597	2570
Гибрид – 300	49	445	182	601	2584
Контроль					
Осокорь	131	218	89	294	1264

биомасса клонов культивара тополя Регенерата составила 400–470 т/га. Лучшие показатели по запасу, количеству стволовой биомассы, а следовательно, и энергетическому потенциалу среди отечественных гибридов были у гибрида М.М. Вересина «Воронежский гигант».

Выводы

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Производство биоэнергии из биомассы вызывает интерес мирового сообщества как запасной вариант при истощении ископаемых источников энергии.

2. При использовании биомассы наибольшая ее часть получается из древесного сырья.

3. Одним из перспективных источников древесного сырья может стать плантационное выращивание быстрорастущих пород и

среди них для регионов умеренного климата, в первую очередь тополей.

4. Изучение продуктивности насаждений и количества производимой биомассы тополей показало, что в условиях Центрального Черноземья в зависимости от генетической ценности сортов производство стволовой биомассы к возрасту количественной спелости может колебаться от 90 до 470 т/га.

5. В зависимости от объема биомассы различных клонов и сортов тополей их энергетический потенциал может варьировать в этом возрасте от 1260 до 6700 ГДж/га.

6. В целом, изучение продуктивности насаждений и количества производимой биомассы тополей различных морфологосистематических групп, а также расчеты энергетического потенциала показали их высокую перспективность для культивирования в качестве возобновляемого источника биоэнергии.

Библиографический список

- Бондарев, В.Я. Особенности подготовки сырья для пиролиза древесины / В.Я. Бондарев, Л.М. Гусева // Лесное хозяйство, 2013. Актуальные проблемы и пути их решения: Междунар. науч.-практич. интернет-конференция НГСХА. – Нижний Новгород – 6 декабря 2013 – 6 января 2014 г. – С. 92–96.
- Виды топлива и его характеристика. – www.gazovik-gaz.ru (дата обращения 14.07.2014).
- Дрова березы и осины оптом ООО «Лес» 16.06.2014. «Дрова» ООО компани. – www.lesonline.ru (дата обращения 23.07.2014).
- Информация дня: цена нефти марки Brent = 106,91 USD/баррель (159 л); курс американского долл. – 35,16 руб. [электронный ресурс]. – www.yandex.ru (дата обращения 23.07.2014).
- Матросов, А.В. Технологические процессы и оборудование производства древесного биотоплива / А.В. Матросов, Е.Н. Щербаков, М.А. Быковский и др. – М.: МГУЛ, 2015. – 296 с.
- Прайс-лист на нефтепродукты компании ООО «Строй-объем». Цены актуальные на 11.04.2014. – www.stroi-m3.k4. (дата обращения 23.07.2014).
- Среднее значение теплотворной способности (теплоты сгорания) различных видов топлива. – www.gazovik-gaz.ru (дата обращения 14.07.2014).
- Уголь для отопления. – www.ruddon.ru/каталог (дата обращения 14.07.2014).
- Усольцев, В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 762 с.
- Царев, А.П. Динамика сохранности и продуктивности настоящих тополей при испытании в условиях умеренного климата / А.П. Царев, Р.П. Царева, В.А. Царев // Информационный вестник ВОГиС. – 2010. – Т. 14. – № 2. – С. 255–264.
- Шегельман, И.Р. Место биоэнергетики в топливно-энергетическом балансе лесопромышленного региона / И.Р. Шегельман, П.О. Щукин, М.Н. Морозов // Наука и бизнес: пути развития. – 2011. – № 6. – С. 151–154.
- Balatinecz J., Mertens P., De Boever L., Yukun H., Jin J., Acker J. Properties, Processing and Utilization // Poplars and Willows – Trees for Society and the Environment / Edited by J.G. Isebrands and J. Richardson. Rome, FAO: published jointly by CAB International and FAO, 2014. p. 527-561.
- Isebrands J.G., Karnosky F. Environmental benefits of poplar culture // Poplar culture in North America / Edited by Dickmann D.I., Isebrand J.G., Eckenwalder J.E., Richardson J. – Ottawa: NRC-CNRC, NRC Research Press, 2001. p. 207-218.
- Kollert W., Carle J., Rosengren L. Poplars and Willows for Rural Livelihoods and Sustainable Development // Poplars and Willows – Trees for Society and the Environment / Edited by J.G. Isebrands and J. Richardson. Rome, FAO: published jointly by CAB International and FAO, 2014. p. 577-602.
- Stanton B.J., Serapiglia M.J., Smart L.B. The domestication and Conservation of *Populus* and *Salix* Genetic Resources // Poplars and Willows – Trees for Society and the Environment / Edited by J.G. Isebrands and J. Richardson. Rome, FAO: published jointly by CAB International and FAO, 2014. p. 124-199.
- Wuehlisch G. Status of short-rotation coppices (SRC) with poplar and willow in Germany // Improving lives with poplars and willows. International poplar commission, 24th Session. Dehradun, India, 30 October-2 November 2012. Abstracts of Submitted Papers. – Working Paper IPC/11, FAO, Rome, Italy. p. 112.
- Ylitalo E. Consumption of renewable energy and wood fuels in the European union / Ylitalo E., Mustonen M. // Forest Bioenergy for Europe, 2014. No 4. p. 17-22.
- Zsuffa L., Giordano E., Pryor L.D., Stettler R.F. Trends in poplar culture: some global and regional perspectives // Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation / Edited by Stettler R.F., Bradshaw, Jr. H.D., Heilman P.E., Yinckley T.M. – Ottawa: NRC-CNRC, NRC Research Press, 1996. p. 515-539.

BIOMASS OF POPLARS OF EUPOPULUS DODE FOR BIOENERGY PRODUCTION

Tsarev A.P., Prof., Dr. Sci. (Agriculture); Petrozavodsk State University, All Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology^(1, 2); **Tsarev V.A.**, Assoc. Prof., PhD (Agriculture) All Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology⁽²⁾

antsa_55@yahoo.com; tsarev@psu.karelia.ru, tsarevvadim2013@gmail.com

⁽¹⁾Petrozavodsk State University professor; 33 Lenin av., Petrozavodsk 185910, Karelia, Russia

⁽²⁾All Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology senior scientist; 105 Lomonosov str., Voronezh 394087, Russia

The comparative analysis of the calorific ability, energy potential, quantity of necessary raw materials to produce 1 GJ of energy, cost of one ton of raw materials and the approximate cost of such raw materials as coal, fuel oil, crude oil and wood necessary to produce 1 GJ of energy is presented. It is observed that the cheapest source of thermal energy is wood. On the basis of the actual efficiency of stem wood of 25-year trees of different morphological and systematic poplar groups (MSG) which have been grown at the testing plantations in the Central Chernozem region, the volume of the biomass production and the potential levels of heat and energy emitted at combustion have been calculated. Depending on the genetic value of poplar species and clones of different MSG, the average figures fluctuated from 220 to 630 m³/hectare (reserves), from 100 to 280 t/hectare (biomass of stem wood), from 320 to 940 Gcal/hectares (amount of heat emitted at combustion), from 1390 to 4030 GJ/hectare (energy potential). The highest potential have the Euro-American hybrids of black poplars (the average value for 8 different species of this MSG was 4030 GJ/hectare). However, within this MSG there were the species which significantly exceed this value. In general, the study of planting productivity and of the amount of the produced poplar biomass in various morphological and systematic groups and the calculations of their energy potential have revealed good opportunities for cultivation as a renewable source of bioenergy.

Keywords: poplars, biomass, bioenergy, renewables

References

1. Bondarev V.Ya., Guseva L.M. *Osobennosti podgotovki syr'ya dlya piroliza drevesiny*. *Lesnoe khozyaystvo–2013. Aktual'nye problemy i puti ikh resheniya. Mezhdunar. Nauch.-praktich. internet-konferentsiya fakul'teta lesnogo khozyaystva Nizhegorodskoy gos. s.-kh. akademii* [Particularities of raw materials preparation for wood. Forestry–2013. Actual problems and ways of their decision. International Science & practical Internet conference of forestry faculty of Nizhny Novgorod State Agriculture Academy]. Nizhny Novgorod, December 6, 2013–January 6, 2014. Nizhny Novgorod, 2014. pp. 92–96. (In Russian).
2. *Vidy topliva i ego kharakteristika* [Types of fuel and its characteristic]. Available at: www.gazovik-gaz.ru (accessed 14 July 2014). (In Russian).
3. *Drova berezy i osiny optom – tsena 400 rub/m³– OOO «Les» 16.06.2014. «Drova» – tsena 200 rub – OOO kompani* [Firewood of a birch and an aspen wholesale – the price is 400 rub/m³– JSC Les 16.06.2014. «Firewood» – the price of 200 rub – open company]. Available at: www.lesonline.ru (accessed 23 July 2014). (In Russian).
4. *Informatsiya dnya: tsena nefi marki Brent = 106.91 USD/barrel' (159 l); kurs USD – 35.16 rub.* [Information of day: Brent oil price = 106.91 USD/barrel (159 l); US dollar exchange rate – 35.16 rub.]. Available at: www.yandex.ru (accessed 23 July 2014). (In Russian).
5. Matrosov A.V., Shcherbakov E.N., Bykovskiy M.A., Laptev A.V., Karpachev S.P. *Tekhnologicheskie protsessy i oborudovanie proizvodstva drevesnogo biotopliva: ucheb. posobie* [Technological processes and equipment of wood biofuel production: educational aid]. Moscow: Moscow State Forest University Edition, 2015. 296 p. (In Russian).
6. *Prays-list na nefteprodukty kompanii OOO «Stroy-ob»em». Tseny aktual'nye na 11.04.2014* [The price list on oil products of the JSC “Stroy-ob” company. Prices actual on 11.04.2014]. Available at: www.stroi-m3.k4. (accessed 23 July 2014). (In Russian).
7. *Srednee znachenie teplotvornoy sposobnosti (teploty sgoraniya) razlichnykh vidov topliva* [Average value of calorific ability (warmth of combustion) of different types of fuel]. Available at: www.gazovik-gaz.ru (accessed 14 July 2014). (In Russian).
8. *Ugol' dlya otopleniya* [Coal for heating]. Available at: www.ruddon.ru/katalog (accessed 14 July 2014). (In Russian).
9. Usol'tsev V. A. *Fitomassa lesov Severnoy Evrazii: normativy i elementy geografii* [Phytomass of the Northern Eurasia forests: standards and elements of geography]. Ekaterinburg: Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 2002. 762 p. (In Russian).
10. Tsarev, A.P., Tsareva, R.P., Tsarev, V.A., *Dinamika sokhrannosti i produktivnosti nastoyashchikh topoley pri ispytanii v usloviyakh umerennogo klimata / pod obshch. red. A.P. Tsareva* [Dynamics of safety and efficiency of the eupopulus at test in the conditions of a temperate climate / under a general edition of A. P. Tsarev]. *Informatsionnyy vestnik VOGiS* [Information bulletin of Vavilov Society of Genetics and Breeders], 2010, V. 14, № 2, pp. 255–264. (In Russian).
11. Shegel'man I.R., Shchukin P.O., Morozov M.N. *Mesto bioenergetiki v toplivno-energeticheskom balanse lesopromyshlennogo regiona* [Place of bio-energetics in fuel and energy balance of the timber industry region]. *Nauka i biznes: puti razvitiya*. [Science and business: ways of development]. 2011, № 6. pp. 151–154. (In Russian).
12. Balatinez J., Mertens P., De Boever L., Yukun H., Jin J., Acker J. Properties, Processing and Utilization. Poplars and Willows – Trees for Society and the Environment. Edited by J.G. Isebrands and J. Richardson. Rome, FAO: published jointly by CAB International and FAO, 2014. pp. 527–561. (In English).
13. Isebrands J.G., Karnosky F. Environmental benefits of poplar culture. Poplar culture in North America. Edited by Dickmann D.I., Isebrand J.G., Eckenwalder J.E., Richardson J. Ottawa: NRC-CNRC, NRC Research Press, 2001. pp. 207–218. (In English).
14. Kollert W., Carle J., Rosengren L. Poplars and Willows for Rural Livelihoods and Sustainable Development. Poplars and Willows – Trees for Society and the Environment / Edited by J.G. Isebrands and J. Richardson. Rome, FAO: published jointly by CAB International and FAO, 2014. pp. 577–602. (In English).
15. Stanton B.J., Serapiglia M.J., Smart L.B. The domestication and Conservation of Populus and Salix Genetic Resources. Poplars and Willows – Trees for Society and the Environment. Edited by J.G. Isebrands and J. Richardson. Rome, FAO: published jointly by CAB International and FAO, 2014. pp. 124–199. (In English).
16. Wuehlisch G. Status of short-rotation coppices (SRC) with poplar and willow in Germany. Improving lives with poplars and willows. International poplar commission, 24th Session. Dehradun, India, 30 October–2 November 2012. Abstracts of Submitted Papers. Rome: Working Paper IPC/11, FAO. pp. 112. (In English).
17. Ylitalo E., Mustonen M. Consumption of renewable energy and wood fuels in the European union. *Forest Bioenergy for Europe*, 2014. No 4. pp. 17–22. (In English).
18. Zsuffa L., Giordano E., Pryor L.D., Stettler R.F. Trends in poplar culture: some global and regional perspectives. *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation* / Edited by Stettler R.F., Bradshaw, Jr. H.D., Heilman P.E., Yinckley T.M. Ottawa: NRC-CNRC, NRC Research Press, 1996. pp. 515–539. (In English).