

**БИОТОПЛИВО: ВОЗВРАТ К ПРОШЛОМУ ИЛИ СОВРЕМЕННЫЙ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЙ ИСТОЧНИК БИОЭНЕРГИИ**
BIOFUELS: A RETURN TO THE PAST OR A MODERN RENEWABLE SOURCE
OF BIOENERGY

Царев А.П., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии», Россия, Воронеж

Царева Р.П., кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии», Россия, Воронеж

Царев В.А., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии», Россия, Воронеж

Милигула Е.Н., младший научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии», Россия, Воронеж

Tsarev A.P., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, chief researcher of the FSBI «All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology», Voronezh, Russia

Tsareva R.P., Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher, leading researcher of the FSBI «All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology», Voronezh, Russia

Tsarev V.A., Candidate of Agricultural Sciences, associate professor, senior researcher of the FSBI «All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology», Voronezh, Russia

Miligula E.N., junior researcher of the FSBI «All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology», Voronezh, Russia

Аннотация. Представлен анализ исследований по биотопливу. В связи с прогнозом истощения ископаемых источников для получения энергии и неблагоприятных воздействий их на окружающую среду в разных странах проводятся исследования и практические работы по использованию возобновляемых ресурсов. Рассматриваются биомасса растений, ветер, солнце, гидроресурсы, геотермальные воды, и др. По некоторым данным древесная биомасса в Европейском Союзе из всех возобновляемых источников в 2012 году составляла 50%. Среди поставщиков древесной биомассы в мире набирают популярность короткоротационные плантации быстрорастущих древесных пород (тополя, ивы и др.). В Европейском Союзе принят план по созданию 70 000 га таких плантаций. В Центрально-Черноземном регионе России исследования по созданию и оценке эффективности коротко-

ротационных плантаций начаты в середине 90-х годов XX века. Исследования показали, что на плантации тополя Робуста в 4-летнем возрасте при 2-летней ротации и густоте посадки 20 тыс. растений на 1 га ежегодный прирост абсолютно сухой биомассы может составлять 11,5 т/га/год. После длительного перерыва в связи трудностями 90-х годов эти работы были возобновлены только в 2015-2016 годах. В соответствии с разработанной программой начаты работы по созданию и исследованию опытных объектов как на территории Всероссийского научно-исследовательского института лесной генетики, селекции и биотехнологии, так и на землях производственных лесных предприятий. Лучшие результаты по росту тополей на репродуктивных участках получены в Куликовском лесхозе Липецкой области, где однолетние побеги тополя 'Воронежский Гигант' и волосистоплодный на коллекционно-маточной плантации в первый год достигли средней высоты 157-183 см.

Summary. The analysis of research on biofuels is presented. In connection with the forecast of the depletion of fossil sources for energy production and their adverse effects on the environment, research and practical work on the use of renewable resources for these purposes is being carried out in different countries. Plant biomass, wind, sun, hydro resources, geothermal waters, etc. are considered. According to some data, wood biomass in the European Union from all renewable sources in 2012 was 50%. Among the suppliers of wood biomass in the world, short-cropped plantations of fast-growing tree species (poplars, willows, etc.) are gaining popularity. The European Union has adopted a plan to create 70,000 hectares of such plantations. In the Central Chernozem region of Russia, research on the creation and evaluation of the effectiveness of short-rotation plantations began in the mid-90s of the twentieth century. Studies have shown that on a plantation of Robusta poplar at the age of 4 years, with a 2-year rotation and a planting density of 20 thousand plants per 1 ha, the annual increase in absolutely dry biomass can be 11.5 t/ha/year. After a long break due to the difficulties of the 1990^s, these works were resumed only in 2015-2016. In accordance with the developed program, work has begun on the creation and research of experimental facilities both on the territory of Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology and on the lands of industrial forest enterprises. The best results on the growth of poplars in the reproductive areas were obtained in the Kulikovsky forestry of the Lipetsk region, where the annual shoots of poplars 'Voronezh Giant' and *P. trichocarpa* at the root-cutting plantation reached an average height of 157-183 cm.

Ключевые слова: биотопливо, древесная биомасса, тополя, короткоротационные плантации, укореняемость, рост, сохранность.

Keywords: biofuels, wood biomass, poplars, short rotation plantations, rootage, growth, survival.

Введение

Биотопливо рассматривается как альтернативный источник энергии. Под ним понимается продукт, синтезируемый из животного, либо растительного сырья, а также из биологических отходов, который при определенном воздействии, выделяет тепловую энергию. Основную долю биотоплива представляют древесные растения. В частности, в Европе среди возобновляемых источников энергии (биомасса, ветер, солнце, гидроресурсы, геотермальные воды, и др.) древесная биомасса в 2012 году составляла 50%. [1]. При этом

значительные надежды возлагаются на быстрорастущие древесные породы и их короткоротационные плантации.

Материалы и методы

Для анализа проблем производства древесной биомассы использован ряд зарубежных и отечественных источников. Среди них: 1) отражающие состояние в разных странах мира [2, 3]; 2) исследования и практические работы, производимые в Германии [4-7]; 3) некоторые аспекты исследований и опытных испытаний в нашей стране [8-10]. После длительного перерыва в связи трудностями 90-х годов (расформирование Всесоюзного объединения “Союзлесселекция”, сокращения научного персонала и недостатка финансирования) эти работы были возобновлены только в 2015-2016 годах.

В данной публикации показаны первые результаты программы восстановления разведения тополей в постсоветское время в Центрально-Черноземном регионе.

Предварительно намеченные этапы программы включают: 1) анализ роста, устойчивости и качества сортов и клонов, сохранившихся после десятилетий забвения на опытных и опытно-производственных сортоиспытательных участках → 2) отбор лучших деревьев, клонов и сортов → 3) заготовка из них репродуктивного материала и его ювенилизация → 4) размножение его в укоренительных отделениях или в культуре *invitro* (если материал трудно черенкуется) → 5) создание коллекционно-маточных плантаций → 6) размножение растений *invivo* производственных масштабах → 7) создание плантаций и других искусственных насаждений.

В настоящей публикации характеризуются три репродуктивных объекта. Один из них, состоящий из ювенилизационного и укоренительного отделений, а также коллекционно-маточной плантации (КМП), создан в лесопарковом участке (ЛПУ) Всероссийского НИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии (ВНИИЛГИСбиотех) в Воронежской области. Географические координаты СШ 52°12'43», ВД 39°30'32». Две других КМП созданы совместно сотрудниками ВНИИЛГИСбиотех и работниками Куликовского лесхоза Липецкой области в реальных производственных условиях. Географические координаты СШ 52°12'43», ВД 39°30'32».

Почвы объектов в ЛПУ представлены серой лесной супесью. Объекты Куликовского лесхоза расположены на черноземевблизи реки Боровицы.

На этих объектах размножаются сорта и клоны белых, черных (включая евро-американские гибриды черных тополей), бальзамических и межсекционных гибридов настоящих тополей. Всего к настоящему времени на КМП ВНИИЛГИСбиотех собрано 35 клонов перспективных тополей отечественной и зарубежной селекции. На объектах исследуется укореняемость, сохранность, рост тополей в высоту, выход стандартных стеблевых черенков и некоторые другие показатели.

Результаты и обсуждение

Группа исследователей (J.M. Grau, I. Canellas, H. Sixto) в Испании изучала эволюцию и перспективы культивирования тополей в течение 100 лет [2]. В работе приводится пример стоимости тополевой древесины на аукционе в провинции Леоне в 2015 г., которая составила 58,6 евро/м³ (в 2015 году примерно 75 руб. за 1 евро). То есть, в принципе выращивание

древесины быстрорастущих тополей является перспективным делом. При этом более эффективным видом получения древесной биомассы для биоэнергетики в мире, в целом, и в Европе, в частности, рассматриваются короткоротационные плантации [1, 3-7].

Общую оценку эффективности короткоротационных плантаций представил R. Ceulemans [2]. Возглавляемая им группа провела исследования в Восточной Фландрии (Бельгия) на короткоротационной плантации тополей площадью в 18 га. В течение двух ротаций плантация давала 10 тонн сухой массы на гектар в год. Выяснилось, что производство биоэнергии на короткоротационной плантации дало в девять раз больше энергии, чем было затрачено на её создание. Кроме того, короткоротационная плантация была чистым поглотителем углерода, то есть поглощала из атмосферы больше углерода, чем производила. Исследователи также показали, что биоэнергетическая культура пока очень затратна. Общие затраты на производство биоэнергии были в пять раз выше, чем стоимость производимой возобновляемой энергии.

Несмотря на неутешительность последнего вывода, недостаток собственных ископаемых энергоресурсов, необходимость заботиться о получении энергии из возобновляемых источников, а также забота о чистоте окружающей среды требуют от энергопотребителей Европейского Союза и некоторых других стран использовать любую возможность развития данного направления [2, 3, 10]. Так, в Европейском Союзе планируется создать 50 000-70 000 га короткоротационных плантаций [1]. О значимости короткоротационного выращивания тополей и ив отмечало множество исследователей и из других стран. При этом наиболее обстоятельно проблемой короткоротационного лесоразведения для получения биоэнергии занимаются в Германии [4-7].

Что касается нашей страны, то у нас возможность использования не возобновляемых, но уже разведанных ископаемых источников более благоприятна, особенно по углю, нефти и газу [10]. В мае текущего года глава Минприроды РФ А. Козлов сообщил, что обеспеченность запасами нефти в России при текущей добыче составляет 59 лет, а природным газом – 103 года (Газета “Коммерсантъ” от 11.05.2021). Однако, учитывая огромные территории нашей страны и их почвенно-климатическое и индустриальное разнообразие, а также необходимость борьбы с атмосферным загрязнением в ряде регионов страны, использование возобновляемых источников энергии являются вполне актуальными и для нашей страны.

Опыты по короткоротационному выращиванию тополей в Центральном Черноземье были заложены авторами в начале 90-х годов прошлого века. Отдельные полученные результаты были освещены в ряде работ [8-10]. Исследования показали, что на плантации тополя ‘Робуста’ в 4-летнем возрасте при 2-летней ротации заготовки надземной биомассы и густоте посадки 20 тыс. растений на 1 га ежегодный прирост абсолютно сухой биомассы составлял 11,5 т/га/год [9].

Выборочные исследования выхода стандартных стеблевых черенков (длина > 20 см) на вновь заложённой КМП в ЛПУ ВНИИЛГИСбиотех показали, что с однолетних побегов на 5-летних корнях в секции белых тополей (‘Болид’, ‘Ведуга’) выход черенков составил 12,3 тыс. шт./га. У черных тополей с пирамидальной кроной (‘ПОК’, ‘Э.д.-120’) – 7,5. У группы евро-американских гибридов черных тополей (‘Бахельери’, ‘Брабантика-175’),

‘Мариляндика’, ‘Регенерата’, ‘Сакрау-59’) – 18,8. В секции бальзамических тополей (волосистоплодный, китайский) – 8,3. В группе межсекционных гибридов настоящих тополей (‘Борей’, ‘Версия’, ‘Ивантеевский’, ‘Воронежский Гигант’) – 15,8 тыс. штук/га. В среднем по КМП выход стеблевых черенков составил 13,2 тыс. штук/га.

В данном случае необходимо принять во внимание, что эта плантация из-за недостатка посадочных площадей в институте была создана при очень высокой густоте (0,5×0,3 м). Вследствие этого она начинает стареть и разрушаться гораздо раньше, чем маточные плантации, созданные при более редком размещении 2,5×0,4 – 3,0×0,5 м. Кроме того, почва на выделенном участке является весьма истощенной в результате многолетнего использования без севооборота и отсутствия каких-либо удобрений. Надо отметить, что на бывшем Семилукском опытно-показательном лесном селекционном питомнике ЦНИИЛГиС выход стандартных стеблевых черенков был значительно выше. Так, в условиях обыкновенного чернозема и размещения растений 2,5×0,4 м выход стандартных черенков на КМП в трехлетнем возрасте в середине 1970-х годов составлял 467,8 тыс. штук/га.

Более успешные результаты получены на КМП-2, созданной в 2020 г. В Куликовском лесхозе Липецкой области (директор А.А. Сергеев). Так, из таблицы 1 виден хороший рост 1-летних побегов тополей на 1-летних корнях. Следует отметить, что при своевременном проведении необходимых агротехнических приемов наблюдается не только высокая сохранность, но и максимальная энергия роста. Так, средняя высота 1-летних растений, выращенных из стеблевых черенков, на данной плантации на 08.09.2020 г. Была 131 см при варьировании от 78 до 183 см (табл.1).

Таблица 1. Рост и сохранность 1-летних тополей на КМП № 2, заложенной в Куликовском лесхозе весной 2020 г. С размещением 3,0×0,5 м (на 08.09.2020 г.)

№№ п/п	Наименование тополя	Инв. №№	Высажено черенков, шт.	Укореняемость, %	Сохранность, % от высаженных	Средняя высота±s _x , см
I. Гибриды белых тополей селекции ВНИИЛГИСбиотех						
1	‘Болид’	27-10	50	58	28	123±17
2	‘Ведуга’	26-07	95	61	49	114±9
II. Виды и гибриды черных тополей отечественной селекции						
3	дельтовидный	вид	29	83	79	149±9
4	‘ПОК’*	91	87	98	90	111±5
III. Евро-американские спонтанные гибриды черных тополей						
5	‘Мариляндика’	34	13	93	77	147±19
6	‘Сакрау-59’	50	33	79	79	107±6
IV. Бальзамические тополя						
7	волосистоплодный	84	56	88	84	183±12
8	Китайский	85	17	88	88	133±10
9	Максимовича	86	49	100	73	78±5
V. Межсекционные гибриды настоящих тополей отечественной селекции						
10	‘Ивантеевский’	46	70	77	69	126±5
11	‘Воронежский Гигант’ (‘Э.с.-38’)	94	158	97	84	157±5

VI. Межсекционные гибриды настоящих тополей селекции ВНИИЛГИСбиотех						
12	‘Борей’	13-01	60	80	63	120±8
13	‘Версия’	22-08	47	91	85	115±6
Итого и среднее (контроль):			764	85	73	131±2

‘ПОК’ – Пирамидально-осоконовый Камышинский*

Заключение

Приведенный в данной работе краткий обзор позволяет сформулировать следующие выводы.

- Истощение ископаемых энергетических ресурсов и их отрицательное влияние на окружающую среду заставляет искать альтернативные источники энергии. Особенно остро эта проблема стоит в промышленно развитых густонаселенных и малолесных странах.

- Среди альтернативных возобновляемых источников (солнечная энергия, ветер, гидроэнергия, геотермальные источники, растительная биомасса и др.) к настоящему времени наибольшей востребованностью пользуется древесина.

- Для производства биоэнергии наиболее популярными оказались короткоротационные плантации быстрорастущих древесных растений, производительность которых может достигать 10 т/га/год и больше при соблюдении баланса CO₂ в атмосфере.

- Исследования по созданию короткоротационных плантаций предпринимались и в Центральном Черноземье, такие работы были проведены в 90-е годы прошлого столетия. В последнее время во ВНИИЛГИСбиотех были возобновлены эти исследования.

- К настоящему времени получены первые положительные результаты. На созданной в Куликовском лесхозе Липецкой области КМП однолетние побеги тополей ‘Воронежский Гигант’ и волосистоплодного в первый год достигли средних высот 157-183 см.

Благодарности. Авторы выражают благодарность работникам Куликовского лесхоза Липецкой области за активное участие в подборе и выделении площади, посадке КМП, уходе за ней и охрану.

Список литературы

1. Energieholzplantagen. Die Erstellung dieser Broschüre wurde durch die Europäische Union in Rahmen des OPTFUEL Projekts (FP7, Nr. 218890) unterstützt. Lignovis GmbH, 2013. – 35 s.
2. Poplars and Other Fast-Growing Trees – Renewable Ressources for Future Green Economies. Abstracts of Submitted Papers and Posters International Poplar Commission 25th Session. Berlin, Germany, 13-16 September 2016. – 222 p.
3. Poplars and Willows – Trees for Society and the Environment. / Isebrands J. S., Richardson J. (eds) Published by the Food and Agriculture Organization of the United Nations and CABI, 2014. – 634 p.
4. Janßen A., Fehrenz S., Fey-Wagner C., Hüller W. Züchtung von Schwarz- und Balsam Pappeln für den Kurzumtrieb // Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten in Kurzumtrieb, Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 8, Universitätsverlag Göttingen, 2012 – P. 33-54.
5. 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.

6. Meyer M, Gebauer K, Janßen A and Krabel D 2018 The importance of fuel characteristics of poplars and aspens (*Populus* spp.) from German short rotation plantations and Russian forests Proc. German-Russian Conf. on Forest Genetics 21-23 November 2017 Thünen Report 62 (Ahrensburg, Braunschweig/Germany: Johann Heinrich von Thünen-Institute) – pp. 61-66. – URL: https://www.thuene.n.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_62.pdf
7. Liesebach M 2020 Poplars and other fast-growing tree species in Germany – Report of the national poplar Commission 2016-2019 (Großhansdorf, Braunschweig / Germany: Thünen Working Paper 141a). 2020. 34 p. – URL: https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorking_Paper_141a.pdf
8. Царев А.П., Царева Р.П., Мироненко С.С. Отбор клонов тополя для миниротационных плантаций // Отбор и его использование в улучшении лесных пород. Воронеж: Научно-исследовательский институт лесной генетики и селекции, 1994. – С. 28-32.
9. Царев А.П., Мироненко С.С. Возможности энергетических плантаций тополя в Центральной лесостепи // Лесное хозяйство, 1997. – № 2. – С. 35-36.
10. Царев А.П., Царев В.А. Биомасса тополей подрода *Europulus*Dode для производства биоэнергии // Лесной вестник – Вестник Московского государственного университета леса. 2015. – Т. 19. – №. 6. – С. 57-62.

References

1. Energieholzplantagen. Die Erstellung dieser Broschüre wurde durch die Europäische Union in Rahmen des OPTFUEL Projekts (FP7, Nr. 218890) unterstützt. Lignovis GmbH, 2013. – 35 s. [in German]
2. Poplars and Other Fast-Growing Trees – Renewable Ressources for Future Green Economies. Abstracts of Submitted Papers and Posters International Poplar Commission 25th Session. Berlin, Germany, 13-16 September 2016. – 222 p.
3. Poplars and Willows – Trees for Society and the Environment. / Isebrands J. S., Richardson J. (eds) Published by the Food and Agriculture Organization of the United Nations and CABI, 2014. – 634 p.
4. Janßen A., Fehrenz S., Fey-Wagner C., Hüller W. Züchtung von Schwarz- und Balsam Pappeln für den Kurzumtrieb // Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten in Kurzumtrieb, Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 8, Universitätsverlag Göttingen, 2012 – S. 33-54. [in German]
5. 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.
6. Meyer M, Gebauer K, Janßen A and Krabel D 2018 The importance of fuel characteristics of poplars and aspens (*Populus* spp.) from German short rotation plantations and Russian forests Proc. German-Russian Conf. on Forest Genetics 21-23 November 2017 Thünen Report 62

- (Ahrensburg, Braunschweig/Germany: Johann Heinrich von Thünen-Institute) – pp. 61-66. – URL: https://www.thuene.n.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_62.pdf
7. Liesebach M 2020 Poplars and other fast-growing tree species in Germany – Report of the national poplar Commission 2016-2019 (Großhansdorf, Braunschweig / Germany: Thünen Working Paper 141a). 2020. – 34 p. – URL: https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper_141a.pdf.
 8. Tsarev A.P., Tsareva R.P., Mironenko S.S. Selection of poplar clones for mini-rotation plantations // Selection and its use in improving forest species. – Voronezh: Research Institute of Forest Genetics and Breeding, 1994. – P. 28-32. [in Russian]
 9. Tsarev A.P., Mironenko S.S. Possibilities of poplar energy plantations in the Central forest-steppe // Forestry, 1997. – No. 2. – P. 35-36. [in Russian]
 10. Tsarev A.P., Tsarev V.A. Biomass of poplars of the subgenus *Eupopulus* Dode for the production of bioenergy // Lesnoy journal – Vestnik of the Moscow Forestry State University. – 2015. – Vol. 19. – No. 6 – P. 57-62. [in Russian]