

УДК 630*232.411:633.877.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.49

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ*Д.Н. Клевцов¹, канд. с.-х. наук, доц.**О.Н. Тюкавина¹, канд. с.-х. наук, доц.**Д.М. Адай^{1,2}, асп.*¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;

e-mail: d.klevtsov@narfu.ru, o.tukavina@narfu.ru

²Takoradi Technical University, P. O. BOX 256, Takoradi, Western Region, Ghana;

e-mail: georgeadayi@yahoo.com

Растительная биомасса – перспективный источник энергии. В качестве сырья для получения пеллетного топлива актуально использование низкосортной древесины. Развитие биоэнергетики является одним из путей снижения энергозависимости производств, удаленных от мест добычи газа, нефти, каменного угля. Для энергетического использования различных фракций фитомассы необходимо оценить их биоэнергетический потенциал. Цель исследования – проведение оценки биоэнергетической продуктивности культур сосны обыкновенной, произрастающих в различных условиях Балтийско-Белозерского таежного района. Объектами изучения служили чистые по составу и идентичные по способу создания участки культур сосны обыкновенной в лишайниковом, брусничном и черничном типах условий местопроизрастания. На временных пробных площадях отбирали по 10 модельных деревьев, которые разделяли на следующие фракции фитомассы: сухие сучья, живые ветви, древесная зелень (охвоенные побеги с диаметром у основания не более 0,8 см), кора ствола, древесина ствола. Установлено, что наибольшее количество энергии за год аккумулируется культурами сосны в сосняке черничном (73,88 ГДж/га). С ухудшением лесорастительных условий энергетическая продуктивность культур сосны снижается: в сосняке лишайниковом она в 4 раза ниже, чем в сосняке черничном, а в сосняке брусничном имеет промежуточное значение (48,89 ГДж/га). Больше количество энергии аккумулируется древесиной ствола (66 %). Значительно меньшие значения энергетической продуктивности отмечены у остальных фракций: сухие сучья – 4 %, ветви – 8 %, древесная зелень – 13 %, кора – 9 %. Это дает возможность оценивать биоэнергетический потенциал традиционно неиспользуемых фракций фитомассы и намечать пути их энергетического применения. Полученная информация может быть использована при разработке комплекса профилактических противопожарных мероприятий и теоретических основ тушения лесных верховых пожаров в сосновых молодняках, поскольку содержит необходимые сведения о запасах горючих материалов в пологе древостоя, а также при обосновании дозы огнегасящих химических средств и воды при тушении лесных верховых пожаров.

Ключевые слова: лесные культуры, сосна обыкновенная, надземная фитомасса, энергетическая продуктивность.

Введение

В последние годы большое внимание уделяется вопросам использования древесной биомассы для получения тепловой энергии. В ряде субъектов Российской Федерации наблюдается тенденция замены ввозимых энергоресурсов

Для цитирования: Клевцов Д.Н., Тюкавина О.Н., Адай Д.М. Биоэнергетический потенциал надземной фитомассы культур сосны обыкновенной таежной зоны // Лесн. журн. 2018. № 4. С. 49–55. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.49

(в первую очередь нефтепродуктов) местными возобновляемыми видами топлива (в том числе древесной биомассой). Это обстоятельство способствует снижению затрат на получение тепловой энергии и улучшению экологической ситуации. Кроме того, производства по переработке древесной биомассы позволяют создавать новые рабочие места, снижают уровень безработицы и предотвращают миграцию трудоспособного населения, проживающего на удаленных территориях.

Однако следует помнить об ограничении изъятия из лесных насаждений с органическим сырьем необходимых в биогеоэкологической работе леса элементов питания. Поэтому между интенсивным вовлечением всех компонентов биомассы древостоев в энергетическое использование и поддержанием их экосистемной роли должен быть разработан разумный баланс на основе комплексных научных исследований.

Как отмечает А.А. Мартынюк [5], одним из наиболее важных факторов перевода теплоснабжения в субъектах Российской Федерации с нефтепродуктов на биотопливо из древесного сырья является наличие достаточного объема ресурсов последнего.

По современным оценкам, биомасса – самый мощный после солнца возобновляемый экологически чистый источник энергии. Ежегодный ее прирост на планете эквивалентен 20...30 млрд т условного топлива, т. е. превосходит годовую добычу нефти [1].

Весьма перспективной нишей рынка является использование низкосортной древесины в качестве энергетического сырья для получения пеллетного топлива. Этот энергоноситель уже завоевал обширный и ежегодно растущий сегмент рынка в Европе, Северной Америке, Китае. Производство пеллетного топлива может быть развернуто в любом населенном пункте, а переход на него не требует даже переоборудования традиционных угольных котельных. И по мере роста цен на природный газ (это неизбежное обстоятельство) сфера применения пеллет, прежде всего в коммунальном хозяйстве, будет неуклонно расти [11].

Развитие биоэнергетики в России снижает энергозависимость производств, особенно удаленных от мест добычи газа, нефти, каменного угля. Исходным сырьем для получения биотоплива в твердом, жидком и газообразном виде является биомасса, которая аккумулирует солнечную энергию в виде углеводов растительного происхождения [10, 16].

Углекислый газ, который образуется при производстве энергии из биотоплива, не относится к парниковым газам, так как биомасса и продукты ее сгорания рассматриваются как часть природного карбонового цикла. Растительные виды биомассы считаются наиболее «благородными» и во многих странах рассматриваются в качестве перспективного источника энергии [8, 13–15, 17, 18].

Цель исследования – определение биоэнергетической продуктивности культур сосны обыкновенной, произрастающих в различных условиях Балтийско-Белозерского таежного района.

Объекты и методы исследования

Исследования проведены на территории таежной лесорастительной зоны в Балтийско-Белозерском таежном районе (Вологодская область, Бабаевский муниципальный район). Объектами исследований являлись чистые по составу или с незначительной примесью березы, идентичные по способу

создания (посевы), участки культур сосны обыкновенной в лишайниковом, брусничном и черничном типах условий местопроизрастания, где древостои имеют существенные отличия в продуктивности.

Полевой экспериментальный материал получен методом однократных обмеров на временных пробных площадях, заложенных в культурах сосны обыкновенной. Обследование на них проводили с учетом методических рекомендаций В.В. Огиевского, А.А. Хирова [7], Н.Н. Соколова [12] и А.Р. Родина, М.Д. Мерзленко [9]. В непосредственной близости на каждой пробной площади тщательно отбирали по 10 модельных деревьев без признаков усыхания из разных ступеней толщины, избегая значительных отклонений в развитии крон, повреждений стволов и т. п. Модельные деревья разделявали на следующие фракции фитомассы: сухие сучья, живые ветви, древесная зелень (охвоенные побеги с диаметром у основания не более 0,8 см), кора ствола, древесина ствола. Массу фракций по каждой модели определяли с помощью электронного безмена (точность ± 50 г).

При выборе лесных участков для закладки пробных площадей и определения запасов энергии, заключенной в надземной фитомассе древостоев культур сосны обыкновенной, придерживались следующих принципов:

зональности (региональности), т. е. с учетом современного состояния лесокультурного производства региона естественный ряд развития подбирается в пределах лесорастительной зоны и лесного района;

однородности происхождения лесосеменного материала;

подбора участков культур с первоначальной густотой, близкой к рекомендациям официально действующих документов;

отнесения к одному естественному ряду развития участков культур, эколого-биологические свойства культивируемой породы которых в полной мере соответствуют условиям местопроизрастания.

При исследовании степени использования солнечной энергии культурами сосны обыкновенной основной задачей являлось определение количества тепловой энергии, заключенной в фитомассе наблюдаемых культурфитоценозов.

Пофракционные запасы надземной фитомассы древесного яруса изучаемых культур получены в результате полевых исследований. Количество аккумулированной солнечной энергии в фитомассе культур сосны обыкновенной рассчитывали исходя из калорийности и количества органики, формируемой культурами за период их роста.

Результаты исследования и их обсуждение

Калорийность (теплотворную способность) фитомассы рассчитывали, используя экспериментальные данные ряда авторов, полученные с применением калориметрического метода (табл. 1).

Таблица 1

Теплотворная способность (ккал/кг) фракций фитомассы сосны обыкновенной по данным разных исследователей

Горючий материал	По Н.П. Курбатскому [4]	По А.А. Молчанову [6]	По В.П. Дадыкину и Н.В. Кононенко [2]	По Н.И. Казимирову и др. [3]	Среднее
Хвоя	5226	5210	–	5148	5195
Древесина	–	4921	4809...5024	4870	4903
Кора	4825	4815	–	4887	4842
Ветви	4927	–	–	4990	4959

Средние значения для хвои, древесины, коры и ветвей составили 5195, 4903, 4842 и 4959 ккал/кг соответственно.

Проведенные расчеты показали, что количество энергии, аккумулированной надземной фитомассой культур сосны обыкновенной в виде энергии химических связей органических соединений, по типам леса колеблется в значительных пределах и связано с их производительностью (табл. 2).

Таблица 2

**Годовая биоэнергетическая продуктивность (ГДж/га) / количество
аккумулированной энергии (%) для исследованных 40-летних культур
сосны обыкновенной по фракциям в разных лесорастительных условиях**

Сосняк	Фракция фитомассы					Всего
	Ствол		Крона		Сухие сучья	
	Древесина	Кора	Ветви	Древесная зелень		
Лишайниковый	<u>10,32</u>	<u>2,00</u>	<u>1,40</u>	<u>3,35</u>	<u>1,08</u>	<u>18,15</u>
	56,9	11,0	7,7	18,5	5,9	100
Брусничный	<u>33,48</u>	<u>4,07</u>	<u>3,47</u>	<u>5,37</u>	<u>2,50</u>	<u>48,89</u>
	68,5	8,3	7,1	11,0	5,1	100
Черничный	<u>55,18</u>	<u>4,91</u>	<u>5,69</u>	<u>6,42</u>	<u>1,68</u>	<u>73,88</u>
	74,7	6,6	7,7	8,7	2,3	100

Для установления влияния типа условий местопроизрастания на энергетическую продуктивность культур сосны обыкновенной проведено сравнение значений этого показателя у исследуемых объектов одного возраста (40 лет) в разных типах леса. Минимальное годовое количество энергии, аккумулированной древостоем, отмечается в сосняке лишайниковом (18,15 ГДж/га), максимальное – в сосняке черничном (73,88 ГДж/га). В культурах сосны брусничного типа условий местопроизрастания количество аккумулированной энергии составляет промежуточную величину (48,89 ГДж/га).

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что относительное количество солнечной энергии, фиксируемой отдельными частями древесного яруса культур сосны обыкновенной, изменяется по типам леса в небольших пределах и может быть охарактеризовано средними цифрами для всех объектов. В частности, древесина ствола аккумулирует 66 % энергии, сухие сучья, ветви, древесная зелень и кора – 4, 8, 13 и 9 % соответственно.

Заключение

Установлено, что культуры сосны в год аккумулируют следующее количество энергии: в сосняке черничном – 73,88 ГДж/га; в сосняке брусничном – 48,89 ГДж/га; в сосняке лишайниковом – 18,15 ГДж/га. При этом древесина ствола накапливает 66 % солнечной энергии, сухие сучья – 4 %, ветви – 8 %, древесная зелень – 13 %, кора – 9 %.

Результаты, полученные в ходе проведенных исследований, представляют определенный интерес не только для теплоэнергетиков, но и для лесоводов. Они могут быть использованы при разработке теоретических основ тушения лесных верховых пожаров в сосновых молодняках, поскольку позволяют рассчитать запасы горючих материалов в пологе древостоя, при обосновании правильного выбора дозы огнегасящих химических средств и воды на тушение,

а также комплекса необходимых профилактических противопожарных мероприятий. Материалы исследования дают возможность оценивать биоэнергетический потенциал традиционно неиспользуемых фракций фитомассы и позволяют намечать пути их энергетического применения. Кроме того, они являются основой для составления энергетического баланса лесных сообществ и изучения потока энергии в лесных экосистемах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабич Н.А., Любов В.К.* Энергетический потенциал среднетаежных сосняков-черничников искусственного происхождения // География Европейского Севера. Проблемы природопользования, социально-экономические, экологические: сб. науч. тр. Архангельск: ПГУ, 2002. С. 194–200.
2. *Дадыкин В.П., Кононенко Н.В.* О теплотворной способности органического материала древесных растений // Лесоведение. 1975. № 2. С. 30–37.
3. *Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М.* Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
4. *Курбатский Н.П.* Техника и тактика тушения лесных пожаров. М.: Гослесбумиздат, 1962. 154 с.
5. *Мартынюк А.А.* Оценка возможности использования древесной биомассы для теплоснабжения в целях перехода от нефтепродуктов на местные возобновляемые виды топлива // Лесн. вестн. 2016. № 5. С. 33–37.
6. *Молчанов А.А.* Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М.: Наука, 1971. 276 с.
7. *Огиевский В.В., Хиров А.А.* Обследование и исследование лесных культур. Л.: ЛТА, 1967. 50 с.
8. *Писаренко А.И., Страхов В.В.* О некоторых современных задачах лесного сектора России // Лесн. хоз-во. 2006. № 4. С. 5–7.
9. *Родин А.Р., Мерзленко М.Д.* Методические рекомендации по изучению лесных культур старших возрастов. М.: ВАСХНИЛ, 1983. 36 с.
10. *Родин А.Р., Родин С.А.* Создание лесных энергетических плантаций // Лесн. вестн. 2008. № 1. С. 178–182.
11. *Рошупкин В.* Ресурсы лесного фонда – в энергетику // Биоэнергетика. 2005. № 1. С. 6–7.
12. *Соколов Н.Н.* Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей. Архангельск: РИО АЛТИ, 1978. 44 с.
13. *Berndes G., Hansson J.* Bioenergy Expansion in the EU: Cost-Effective Climate Change Mitigation, Employment Creation and Reduced Dependency on Imported Fuels // Energy Policy. 2007. Vol. 35(12). Pp. 5965–5979.
14. *Björheden R.* Drivers Behind the Development of Forest Energy in Sweden // Biomass & Bioenergy. 2006. Vol. 30. Pp. 289–295.
15. IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Intergovernmental Panel on Climate Change. 2011.
16. *Melin Y.* Impacts of Stumps and Roots on Carbon Storage and Bioenergy Use in a Climate Change Context // Agric. Sci. Umeå, Uppsala, 2014. 74 p.
17. *Sandström F., Petersson H., Krus N., Ståhl G.* Biomass Conversion Factors (Density and Carbon Concentration) by Decay Classes for Dead Wood of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula spp.* in Boreal Forests of Sweden // Forest Ecology and Management. 2007. Vol. 243(1). Pp. 19–27.
18. *Ximenes F.A., George B.H., Cowie A., Williams J., Kelly G.* Greenhouse Gas Balance of Native Forests in New South Wales, Australia // Forests. 2012. Vol. 3(3). Pp. 653–683.

UDC 630*232.411:633.877.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.49

Bioenergy Potential of Aerial Phytomass of Scots pine in the Middle Taiga Forest Region

D.N. Klevtsov¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

O.N. Tyukavina¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

G.M. Adayi^{1, 2}, Postgraduate Student

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: d.klevtsov@narfu.ru, o.tukavina@narfu.ru

²Takoradi Technical University, P. O. BOX 256, Takoradi, Western Region, Ghana; e-mail: georgeadayi@yahoo.com

Plant biomass is a promising source of energy. The use of low-grade wood as a raw material for pellet fuel production is important. The development of bioenergy is one of the ways to reduce the energy dependence for industries, remote from places of gas, oil and coal extraction. The bioenergy potential of different phytomass fractions should be evaluated for their energy use. The goal of research is to assess the bioenergy productivity of Scots pine growing in different conditions of the middle taiga forest region. The areas of Scots pine cultures pure in composition and identical in the way of creation are the objects of research. The forests of cladina, vaccinium and myrtillus types of sites are considered. On the temporary sample plots, 10 model trees are selected. They are divided into the following phytomass fractions: dry branches, living branches, tree foliage (needle packing shoots with a diameter at the base not more than 0.8 cm), trunk bark, trunk wood. The greatest amount of energy is accumulated by pine cultures in the myrtillus pine forest (73.88 GJ/ha per year). The energy productivity of pine crops decreases when site deterioration. In pine forests of cladina type, the energy productivity is 4 times lower than in the myrtillus pine forest. In the pine forests of vaccinium type, the accumulated energy has an intermediate value (48.89 GJ/ha). More energy is accumulated by stem wood (66 %). Significantly lower values of energy productivity are recorded in the other fractions: dry branches – 4 %, branches – 8 %, woody greens – 13 % and bark – 9 %. These indices help to evaluate the bioenergy potential of traditionally unused phytomass fractions and to outline the ways of their energy use. The obtained information can be used in the development of a set of necessary preventive firefighting measures and theoretical bases for forest crown fires extinguishing in young pine forests. The research results present the necessary information on the stocks of combustible materials in the canopy of the stand, as well as justifying the dose of fire extinguishing chemicals and water in forest fire extinguishing.

Keywords: forest culture, scots pine, aerial phytomass, energy production.

REFERENCES

1. Babich N.A., Lyubov V.K. Energeticheskiy potentsial srednetaezhnykh sosnyakov-chernichnikov iskusstvennogo proiskhozhdeniya [Energy Potential of Homogeneous Middle-Taiga Bilberry Pine Forests]. *Geografiya Evropeyskogo Severa. Problemy prirodopol'zovaniya, sotsial'no-ekonomicheskie, ekologicheskie: sb. nauch. tr.* [Geography of the European North. Nature Management, Socio-Economic, Environmental Problems]. Arkhangelsk, PSU Publ., 2002, pp. 194–200. (In Russ.)

2. Dadykin V.P., Kononenko N.V. O teplotvornoy sposobnosti organicheskogo materiala drevesnykh rasteniy [On the Calorific Value of the Organic Material of Woody Plants]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1975, no. 2, pp. 30–37.

For citation: Klevtsov D.N., Tyukavina O.N., Adayi G.M. Bioenergy Potential of Aerial Phytomass of Scots pine in the Middle Taiga Forest Region. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 4, pp. 49–55. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.49

3. Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zyabchenko S.S., Ivanchikov A.A., Morozova R.M. *Obmen veshchestv i energii v osnovnykh lesakh Evropeyskogo Severa* [Metabolism in Pine Forests of the European North]. Leningrad, Nauka Publ., 1977. 304 p. (In Russ.)
4. Kurbatskiy N.P. *Tekhnika i taktika tusheniya lesnykh pozharov* [Technique and Tactics of Forest Fires Extinguishing]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1962. 154 p. (In Russ.)
5. Martynyuk A.A. Otsenka vozmozhnosti ispol'zovaniya drevesnoy biomassy dlya teplosnabzheniya v tselyakh perekhoda ot nefteproduktov na mestnye vozobnovlyayemye vidy topliva [Assessment of Wood Biomass Utilization Opportunity for Heat Supply due to Shift from Oil Products to Local Renewable Fuels]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2016, no. 5, pp. 33–37.
6. Molchanov A.A. *Produktivnost' organicheskoy massy v lesakh razlichnykh zon* [Organic Matter Productivity in Forests of Different Zones]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 276 p. (In Russ.)
7. Ogievskiy V.V., Khиров A.A. *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur* [Inspection and Study of Forest Cultures]. Leningrad, LTA Publ., 1967. 50 p. (In Russ.)
8. Pisarenko A.I., Strakhov V.V. O nekotorykh sovremennykh zadachakh lesnogo sektora Rossii [On Some Modern Problems of the Russian Forest Sector]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2006, no. 4, pp. 5–7.
9. Rodin A.R., Merzlenko M.D. *Metodicheskie rekomendatsii po izucheniyu lesnykh kul'tur starshikh vozrastov* [Methodological Recommendations on the Study of Forest Cultures of Older Ages]. Moscow, All-Union Academy of Agricultural Sciences Publ., 1983. 36 p. (In Russ.)
10. Rodin A.R., Rodin S.A. Sozdanie lesnykh energeticheskikh plantatsiy [Establishment of Forest Energy Plantations]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2008, no. 1, pp. 178–182.
11. Roshchupkin V. Resursy lesnogo fonda – v energetiku [Resources of the Forest Fund – to the Energy Sector]. *Bioenergetika*, 2005, no. 1, pp. 6–7.
12. Sokolov N.N. *Metodicheskie ukazaniya k diplomnomu proektirovaniyu po taksatsii probnykh ploshchadey* [Methodological Instructive Regulations for the Graduate Thesis on the Estimation by Circular Sample Plots]. Arkhangelsk, AFTI Publ., 1978. 44 p. (In Russ.)
13. Berndes G., Hansson J. Bioenergy expansion in the EU: Cost-Effective Climate Change Mitigation, Employment Creation and Reduced Dependency on Imported Fuels. *Energy Policy*, 2007, no. 35(12), pp. 5965–5979.
14. Björheden R. Drivers Behind the Development of Forest Energy in Sweden. *Biomass & Bioenergy*, 2006, no. 30, pp. 289–295.
15. IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Intergovernmental Panel on Climate Change. 2011.
16. Melin Y. Impacts of Stumps and Roots on Carbon Storage and Bioenergy Use in a Climate Change Context. *Agric. Sci. Umeå, Uppsala*, 2014. 74 p.
17. Sandström F., Petersson H., Kruys N., Ståhl G. Biomass Conversion Factors (Density and Carbon Concentration) by Decay Classes for Dead Wood of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula spp.* in Boreal Forests of Sweden. *Forest Ecology and Management*, 2007, no. 243(1), pp. 19–27.
18. Ximenes F.A., George B.H., Cowie A., Williams J., Kelly G. Greenhouse Gas Balance of Native Forests in New South Wales, Australia. *Forests*, 2012, no. 3(3), pp. 653–683.

Received on February 21, 2018
