

УДК 630\*232.411.11

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.78

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ КУЛЬТУР СОСНЫ И ЕЛИ

*Н.Р. Сунгурова<sup>1</sup>, канд. с.-х. наук, доц.*

*Н.А. Бабич<sup>1</sup>, д-р с.-х. наук, проф.*

*Р.В. Сунгуров<sup>2</sup>, канд. с.-х. наук, доц., ст. науч. сотр.*

*В.К. Любов<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.*

*А.Н. Попов<sup>1</sup>, инж.*

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;

e-mail: nsungurova@yandex.ru, v.lubov@narfu.ru, a.n.popov@narfu.ru

<sup>2</sup>Северный НИИ лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия, 163062; e-mail: sungurov51@yandex.ru

В настоящее время более половины заготавливаемой в мире древесины используется в энергетике главным образом для получения тепла. По современным оценкам, биомасса является самым мощным после солнца возобновляемым экологически чистым источником энергии. Цель работы – определение теплоты сгорания различных фракций надземной фитомассы в культурах сосны и ели, произрастающих в северо-таежном районе Архангельской области. Полученные данные использовали для установления количества солнечной энергии, аккумулированной фракциями фитомассы. Энергетический потенциал изучаемых культур сосны и ели рассчитывали по низшей теплоте сгорания фитомассы, так как в России она принята в качестве основного показателя энергетической ценности топлива. Установлено, что относительное количество солнечной энергии, фиксированной отдельными частями древесного яруса в культурах как сосны, так и ели, различно. Больше всего энергии аккумулируется древесиной (сосна – 70,0, ель – 59,1 %). Наименьший показатель энергетической продуктивности отмечен у фракции «сухие сучья» (соответственно 2,8 и 3,3 %). Результаты исследований могут быть использованы при разработке карт пожарной безопасности лесов, обосновании правильного выбора дозы огнегасящих химических средств и воды при тушении, а также комплекса необходимых профилактических противопожарных мероприятий. Полученные данные позволяют оценивать энергетический потенциал традиционно неиспользуемых фракций фитомассы, намечать пути их энергетического применения, а также являются основой для составления энергетического баланса лесных сообществ и изучения потока энергии в лесных экосистемах таежной зоны.

*Ключевые слова:* лесные культуры, сосна, ель, надземная фитомасса, теплота сгорания, энергетический потенциал.

### *Введение*

Развитие биоэнергетики в России является актуальной государственной задачей снижения энергозависимости производств, особенно удаленных от

---

*Для цитирования:* Сунгурова Н.Р., Бабич Н.А., Сунгуров Р.В., Любов В.К., Попов А.Н. Энергетический потенциал культур сосны и ели // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 78–84. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.78

мест добычи газа, нефти, каменного угля. Исходным сырьем для получения биотоплива в твердом, жидком и газообразном состояниях служит фитомасса, которая аккумулирует солнечную энергию в виде углеводов растительного происхождения [10].

Опыт Архангельской области показывает, что дизельное топливо на электростанциях с успехом может быть заменено альтернативными источниками энергии (отходами лесопиления, биотопливом). Кроме того, необходимо не забывать также энергию, получаемую на гидро- и приливных электростанциях. Такая замена экономически эффективна для населенных пунктов, удаленных более чем на 20...30 км от центральных линий электропередачи [11].

Цель работы – определение теплоты сгорания различных фракций надземной фитомассы в культурах сосны и ели, произрастающих в северо-таежном районе Архангельской области, для установления количества солнечной энергии, аккумулированной фракциями фитомассы.

*Объекты и методы исследования*

Обследованы лесные культуры сосны и ели, созданные на долгомошной вырубке в северо-таежном районе Архангельской области. Их таксационная характеристика приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Таксационная характеристика 36-летних культур сосны и ели**

Культуры	Высота, м	Диаметр, см	Сохранность, %	Класс бонитета	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га
Сосны	15,3±0,01	17,5±0,02	55,2	II	1,24	350
Ели	7,1±0,02	8,0±0,01	62,7	III	1,31	75

Примечание. Диаметр и высота приведены с ошибкой определения.

При изучении надземной фитомассы древесного яруса культур сосны и ели выделяли следующие фракции: ветви, кору, древесину ствола, сухие сучья, древесную зелень. Соотношение фракций надземной фитомассы (в свежем состоянии) в лесных культурах представлено в табл. 2.

Таблица 2

**Соотношение фракций (%) надземной фитомассы в 36-летних культурах сосны и ели**

Фракция фитомассы	Культуры	
	сосны	ели
Ветви	10,3	4,6
Кора	8,4	10,1
Древесина ствола	71,1	60,7
Сухие сучья	2,6	3,2
Древесная зелень	7,6	21,4
<i>Итого</i>	100,0	100,0

Теплоту сгорания фракций фитомассы культур сосны и ели определяли с помощью калориметра немецкой фирмы «IKA WERKE» модели C 2000 basic Version 2 с бомбой C 5012, предназначенной для сжигания твердого и жидкого топлива и устойчивой к воздействию галогенов [8].

*Результаты исследования и их обсуждение*

По найденным значениям высшей теплоты сгорания на горючую массу (табл. 3) рассчитывали низшую теплоту сгорания на рабочую и горючую массу средних проб фитомассы при влажности и зольности, характерных для свежесрубленного состояния.

Таблица 3

**Теплота сгорания (ккал/кг) по фракциям надземной фитомассы в 36-летних культурах сосны и ели**

Фракция фитомассы	Теплота сгорания		
	высшая на горючую массу	низшая	
	на рабочую массу	на горючую массу	
<i>Культуры сосны</i>			
Ветви	5287	2333	4887
Кора	5161	3648	4762
Древесина ствола	5060	3415	4661
Сухие сучья	5618	3975	5219
Древесная зелень	5390	2153	4991
<i>Культуры ели</i>			
Шишки	4850	1276	4462
Ветви	5147	187	4759
Кора	5212	2810	4824
Древесина ствола	4909	3476	4520
Сухие сучья	5192	4054	4803
Древесная зелень	5253	2403	4864

Сравнивая значения теплоты сгорания (табл. 3) с приведенными в литературных источниках (табл. 4), можно сделать вывод, что полученные нами значения являются средними. Так, наибольшим количеством фиксированной (аккумулированной) солнечной энергии в культурах сосны обладают сухие сучья, в культурах ели – древесная зелень, наименьшим – стволовая древесина. Это заключение подтверждают расчеты Н.И. Казимирова с соавт. [6]. В других работах [1, 5–7, 9] отмечается, что наименьшее количество аккумулированной энергии сосредоточено в коре.

Энергетический потенциал изучаемых культур сосны и ели (табл. 5) рассчитан по низшей теплоте сгорания фитомассы, так как в России она принята в качестве основного показателя энергетической ценности топлива.

Таблица 4

**Теплотворная способность (ккал/кг) горючего материала сосны и ели  
по данным различных исследователей**

Фракция фитомассы	По Н.И. Казимирову и др. (1977) [6]	По Н.П. Курбатскому (1962) [7]	По А.А. Молчанову (1971) [9]	По В.П. Дадыкину и др. (1975) [5]	По Н.А. Бабичу и др. (2010) [1]
Ветви сосны	4990	4927	–	–	4959
Кора сосны	4887	4825	4815	–	4842
Древесина:					
сосны	4870	–	4921	4809...5024	4903
ели	4830	–	4899	4729	–
Хвоя:					
сосны	5148	5226	5210	–	5195
ели	5108	–	5029	–	–

Н.А. Бабиц, Д.Н. Клевцов, И.В. Евдокимов [1], изучавшие степень использования солнечной энергии 40-летними посевами сосны в южной подзоне тайги, в сосняке лишайниковом отмечали минимальное количество энергии, депонированной древесиной (726,20 ГДж/га), в сосняке черничном – максимальное (2955,29 ГДж/га). По мнению тех же авторов, относительное количество фиксированной солнечной энергии в культурах сосны аккумулируется древесиной (67 %), сухими сучьями (4 %), ветвями (8 %), древесной зеленью (13 %) и корой (9 %).

Таблица 5

**Энергетический потенциал (ГДж/га)  
по фракциям надземной фитомассы в 36-летних культурах сосны и ели**

Фракция фитомассы	Культуры	
	сосны	ели
Ветви	<u>973,12</u>	<u>105,80</u>
	10,7	4,6
Кора	<u>770,59</u>	<u>237,32</u>
	8,4	10,5
Древесина ствола	<u>6398,67</u>	<u>1333,41</u>
	70,0	59,1
Сухие сучья	<u>257,84</u>	<u>74,40</u>
	2,8	3,3
Древесная зелень	<u>737,01</u>	<u>507,28</u>
	8,1	22,5
<i>Итого</i>	<u>9137,23</u>	<u>2258,21</u>
	100,0	100,0

Примечание. В знаменателе приведено значение энергетической продуктивности в процентах.

Согласно данным, приведенным в табл. 5, культуры сосны, созданные на долгомошной вырубке, аккумулируют 9137,23 ГДж/га солнечной энергии, культуры ели – 2258,21 ГДж/га.

Обследовав в средней подзоне тайги сосняки-черничники искусственного происхождения, Н.А. Бабич и В.К. Любов [2] установили, что в возрасте 20, 30 и 40 лет депонированная надземной фитомассой солнечная энергия составляет соответственно 627, 1609 и 2995 ГДж/га.

Изучение теплотворной способности древесных растений, проведенное К.С. Бобковой и В.В. Тужилкиной [4] в сосновых и еловых фитоценозах средней подзоны тайги на территории Республики Коми, показало, что у ели калорийность\* отдельных фракций фитомассы изменяется от 16,81 до 21,77 кДж/г, у сосны – от 16,40 до 22,91 кДж/г. Более высокие энергетические показатели характерны для древесины ствола и крупных корней. Полученные этими авторами данные о калорийности отдельных фракций разных древесных пород согласуются с результатами, приведенными и в других источниках. Так, А.А. Молчанов [9] отмечает, что калорийность древесины ствола сосны, произрастающей в таежной зоне, составляет 20,61 кДж/г, ели – 20,52 кДж/г, В.П. Дадыкина и Н.В. Кононенко [5] приводят данные – 21,05 и 19,81 кДж/г соответственно.

Многочисленные исследования калорийности сосны и ели по фракциям надземной фитомассы, проведенные К.С. Бобковой [3], показали, что в хвое сосны и ели аккумулируется соответственно 19,96...20,15 и 19,65...20,63 кДж/г; в ветвях – 18,40...19,00 и 18,83...19,0; в древесине ствола – 21,55 и 21,77; в коре – 18,49 и 20,37; в шишках – 20,39 и 19,75 кДж/г.

#### *Заключение*

Результаты исследования позволяют оценивать энергетический потенциал традиционно неиспользуемых фракций фитомассы; намечать направления их применения в энергетике (например, использование ветвей сосны, древесной зелени и коры ели в качестве биотоплива). Они могут служить основой для составления энергетического баланса лесных сообществ и изучения потоков энергии в лесных экосистемах таежной зоны. По нашим данным, еловые шишки накапливают 18,68 кДж/г солнечной энергии; ветви сосны и ели – соответственно 20,46 и 19,92 кДж/г; кора сосны и ели – 19,94 и 20,20 кДж/г; стволы древесины сосны и ели – 19,51 и 18,92 кДж/г.

Полученные данные могут быть учтены при разработке карт пожарной безопасности лесов, обосновании правильного выбора дозы огнегасящих химических средств и воды при тушении, а также комплекса необходимых профилактических противопожарных мероприятий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабич Н.А., Клевцов Д.Н., Евдокимов И.В. Зональные закономерности изменения фитомассы культур сосны: моногр. Архангельск: САФУ, 2010. 140 с.
2. Бабич Н.А., Любов В.К. Энергетический потенциал среднетаежных сосняков-черничников искусственного происхождения // География Европейского Севера. Архангельск: ПГУ, 2002. С. 194–200.

---

\*Калорийность топлива, или теплота сгорания – количество энергии, аккумулированное в веществе.

3. Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
4. Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. 2001. № 1. С. 69–71.
5. Дадыкин В.П., Кононенко Н.В. О теплотворной способности органического материала древесных растений // Лесоведение. 1975. № 2. С. 30–37.
6. 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.
7. Курбатский Н.П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М.: Гослесбуиздат, 1962. 154 с.
8. Любовь В.К., Попов А.Н. Исследование теплотворной способности топлива: метод. указания к выполнению лаб. работы № 4. Архангельск: САФУ, 2012. 28 с.
9. Молчанов А.А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М.: Наука, 1971. 276 с.
10. Родин А.Р., Родин С.А. Создание лесных энергетических плантаций // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2008. № 1. С. 178–182.
11. Gerasimov Y., Karjalainen T. Assessment of Energy Wood Resources in Northwest Russia. Режим доступа: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp108.pdf>. (дата обращения: 01.11.2015).

Поступила 01.11.15

UDC 630\*232.411.11

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.78

### Energy Potential of Pine and Spruce Cultures

*N.R. Sungurova<sup>1</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor*

*N.A. Babich<sup>1</sup>, Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

*R.V. Sungurov<sup>2</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Research Officer*

*V.K. Lyubov<sup>1</sup>, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

*A.N. Popov<sup>1</sup>, Engineer*

<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: nsungurova@yandex.ru, v.lyubov@narfu.ru, a.n.popov@narfu.ru

<sup>2</sup>Northern Research Institute of Forestry, ul. Nikitova, 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; e-mail: sungurov51@yandex.ru

Currently, more than half of the world's harvested wood is used in power generation, mainly to generate heat. According to the modern estimates, biomass is the most powerful renewable environmentally friendly energy source, next to the Sun. The work objective is the determination of the calorific value of different fractions of the above ground biomass in pine and spruce cultures, growing in the north-taiga area of the Arkhangelsk region. The obtained data are used to determine the amount of solar energy accumulated by the phytomass fractions. The energy potential of the studied pine and spruce cultures is calculated from the lowest phytomass calorific value, since it is adopted in Russia as the main indicator

---

*For citation:* Sungurova N.R., Babich N.A., Sungurov R.V., Lyubov V.K., Popov A.N. Energy Potential of Pine and Spruce Cultures. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 78–84. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.78

of the energy value of fuel. The relative amount of solar energy accumulated by individual parts of a tree layer in pine and spruce cultures is different. The most energy is accumulated by wood (pine – 70.0, spruce – 59.1 %). The lowest indicator of energy productivity is observed in the fraction of dry branches (2.8 and 3.3 %, respectively). The results of the research can be used in the development of forest fire safety maps, justification of the correct choice of a dose of fire-extinguishing chemicals and water for extinguishing, as well as the complex of necessary fire prevention measures. The obtained data allow us to estimate the energy potential of traditionally unused phytomass fractions, to outline the ways of their energy use; and also they are the basis for the energy balance composition of forest communities and the energy flow studying in the forest ecosystems of the taiga zone.

*Keywords:* forest culture, pine, spruce, above ground phytomass, calorific value, energy potential.

#### REFERENCES

1. Babich N.A., Klevtsov D.N., Evdokimov I.V. *Zonal'nye zakonomernosti izmeneniya fitomassy kul'tur sosny: monogr.* [Zonal Patterns of Phytomass Changes in Pine Cultures]. Arkhangelsk, 2010. 140 p.
2. Babich N.A., Lyubov V.K. Energeticheskiy potentsial srednetaezhnykh sosnyakov-chernichnikov iskusstvennogo proiskhozhdeniya [Energy Potential of the Middle-Taiga Pine and Myrtillus Forests of Artificial Origin]. *Geografiya Evropeyskogo Severa* [Geography of the European North]. Arkhangelsk, 2002, pp. 194–200.
3. Bobkova K.S. *Biologicheskaya produktivnost' khvoynykh lesov Evropeyskogo Severo-Vostoka* [Biological Productivity of Coniferous Forests of the European North-East]. Leningrad, 1987. 156 p.
4. Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V. Soderzhanie ugleroda i kaloriynost' organicheskogo veshchestva v lesnykh ekosistemakh Severa [Carbon Content and Caloric Value of Organic Matter in the Forest Ecosystems of the North]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2001, no. 1, pp. 69–71.
5. Dadykin V.P., Kononenko N.V. O teplotvornoy sposobnosti organicheskogo materiala drevesnykh rasteniy [On the Calorific Value of Organic Material of Woody Plants]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1975, no. 2, pp. 20–37.
6. Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zyabchenko S.S., Ivanchikov A.A., Morozova R.M. *Obmen veshchestv i energii v sosnovykh lesakh Evropeyskogo Severa* [Substance and Energy Exchange in Pine Forests of the European North]. Leningrad, 1977. 304 p.
7. Kurbatskiy N.P. *Tekhnika i taktika tusheniya lesnykh pozharov* [Technique and Tactics of Forest Fire Extinguishing]. Moscow, 1962. 154 p.
8. Lyubov V.K., Popov A.N. *Issledovanie teplotvornoy sposobnosti topliva: metod. ukazaniya k vypolneniyu lab. raboty № 4* [Study of the Calorific Value of Fuel]. Arkhangelsk, 2012. 28 p.
9. Molchanov A.A. *Produktivnost' organicheskoy massy v lesakh razlichnykh zon* [Organic Matter Productivity in the Forests of Different Zones]. Moscow, 1971. 276 p.
10. Rodin A.R., Rodin S.A. Sozdanie lesnykh energeticheskikh plantatsiy [Establishment of Forest Energy Plantations]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2008, no. 1, pp. 178–182.
11. Gerasimov Y., Karjalainen T. *Assessment of Energy Wood Resources in Northwest Russia*. Available at: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp108.pdf>. (accessed 01.11.2015).

Received on November 01, 2015