

УДК 630\*232.411

DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-82-91

## ТЕПЛОТВОРНАЯ СПОСОБНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ В КУЛЬТУРАХ СЕВЕРОТАЕЖНОГО ЛЕСНОГО РЕГИОНА

**О.Н. Тюкавина<sup>1</sup>**, канд. с.-х. наук, доц.; *ResearcherID*: [H-2336-2019](https://orcid.org/0000-0003-4024-6833).

*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-4024-6833>

**Д.Н. Клевцов<sup>1</sup>**, канд. с.-х. наук, доц.; *ResearcherID*: [A-7791-2019](https://orcid.org/0000-0001-6902-157X).

*ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-6902-157X>

**Д.М. Адаи<sup>1,2</sup>**, аспирант

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: o.tukavina@narfu.ru, d.klevtsov@narfu.ru

<sup>2</sup>Технический университет Такоради, а/я 256, Такоради, Западный регион, Гана; e-mail: georgeadayi@yahoo.com

**Аннотация.** Теплотворная способность растений является важным параметром для оценки материальных циклов и преобразования энергии в лесных экосистемах, а также качественной характеристикой растительного сырья как топлива. Древесное биотопливо находит все более широкое применение при производстве тепловой энергии, в связи с этим актуально изучение теплотворной способности древесины и условий выращивания наиболее качественного сырья. Цель исследования – выявление зависимости теплотворной способности древесины сосны в культурах от ее макроскопического строения, характеристик ассимиляционного аппарата, густоты и высоты древостоя. На временных пробных площадях выбирали мелкие, средние и крупные неповрежденные без патологий модельные деревья, у которых возрастным буровом на высоте 1,3 м отбирали керны для измерения радиальных приростов на полуавтоматическом комплексе «Линтаб-6» с точностью  $\pm 0,01$  мм. Теплотворную способность древесины определяли в абсолютно сухом состоянии при помощи автоматизированного бомбового калориметра АБК-1В. Для изучения влияния ассимиляционного аппарата на теплотворную способность древесины хвою всех возрастов отбирали со средней ветви кроны модельного дерева, из средней части хвоинки готовили поперечные срезы, используя санный микротом МС-2. Измеряли гистологические элементы хвоинки с помощью микроскопа Axio Scope.A1 и программного обеспечения IMAGE-PRO INSIGHT 8,0. Средняя теплоемкость древесины сосны в сосняках вересково-лишайниковых составляет  $(20\ 731 \pm 133)$  Дж/г, в сосняках брусничных –  $(20\ 618 \pm 141)$  Дж/г, в сосняках черничных –  $(20\ 513 \pm 104)$  Дж/г при густоте древостоя от 1160 до 3806 шт./га. Наибольшая теплоемкость древесины сосны отмечается в сосняке вересково-лишайниковом при густоте древостоя 5021 шт./га. Повышенная теплоемкость древесины сосны при высокой густоте древостоя обусловлена сокращением количества хвои на ветви ( $r = -0,75$ ) и увеличением диаметра смоляных ходов ( $r = -0,88$ ). Установлено влияние средней высоты древостоя и структуры годичного слоя на теплотворную способность древесины сосны. **Для цитирования:** Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Адаи Д.М. Теплотворная способность древесины сосны в культурах северотаежного лесного региона // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 1. С. 82–91. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-82-91

**Ключевые слова:** теплотворная способность древесины, сосна, тип леса, культуры, радиальный прирост, хвоя.

### *Введение*

Теплотворная способность растений является важным параметром для оценки и индексации материальных циклов и преобразования энергии в лесных экосистемах [30]. Учитывая, что древесиной аккумулируется 66 % солнечной энергии [14], необходимо определить ее энергетический потенциал. Теплотворная способность является качественной характеристикой древесины как топлива [1]. Древесное биотопливо находит все более широкое применение при производстве тепловой энергии [4]. Спрос на древесные брикеты и пеллеты увеличивается [1, 18, 20]. Кроме того, биотопливо по сравнению с традиционными видами топлива более экологично [24, 26, 28], так как при его использовании отсутствуют серные окислы, снижаются выбросы сажи [8]. Потенциальными источниками древесного топлива являются древесные остатки на вырубках, пни, баланс круглого леса, а также зеленая масса и ветки [21]. Однако древесина по сравнению с другими частями дерева имеет преимущества: однородный элементарный химический состав [1], меньшее содержание азота и золы по сравнению с хвоей и корой [25, 30]. Высокое содержание азота в биомассе уменьшает теплотворную способность [22], а повышенная зольность сырья приводит к возникновению проблем при эксплуатации систем как на этапе сжигания, так и на этапе газификации [27]. Использование низкосортной, неделовой древесины сосны позволит снизить потери древесины при лесозаготовках и повысить экономическую эффективность рубок ухода, но для этого необходимо изучить теплотворную способность этого вида древесины и факторы, влияющие на данный показатель.

Цель работы – выявление зависимости теплотворной способности древесины сосны в культурах от характеристик деревьев и древостоев.

### *Объекты и методы исследования*

Исследования проведены на территории таежной лесорастительной зоны в северотаежном лесном районе европейской части России (Емецкое лесничество Пингишенского участкового лесничества). Объектами наблюдений являлись чистые по составу или с незначительной примесью березы, идентичные по способу создания участки культур сосны обыкновенной в лишайниковом, брусничном и черничном типах условий местопроизрастания, где имеются существенные отличия в продуктивности древостоев (табл. 1). Культуры сосны были созданы семенами местного сбора путем посева на площадках размером 0,3×0,5 м по 20–30 шт. в каждую в первой половине июня 1941 г. Уходов за культурами не проводилось.

Полевой экспериментальный материал получен методом однократных обмеров на временных пробных площадях (ПП), заложенных в культурах сосны обыкновенной. Обследование на них проводили с учетом методических рекомендаций В.В. Огиевского, А.А. Хирова [7]; Н.Н. Соколова [12]. На каждой ПП отбирали в трехкратной повторности мелкое, среднее и крупное модельные деревья, избегая значительных отклонений по развитию крон, повреждений стволов, признаков усыхания и т. п. У модельных деревьев на высоте 1,3 м возрастным буравом отбирали керны, на которых измеряли приросты ранней и поздней древесины полуавтоматическим комплексом для распознавания годичных колец Линтаб-6 с точностью ±0,01 мм. Теплотворную способность древесины устанавливали при помощи автоматизированного бомбового калориметра АБК-1В.

Таблица 1

## Таксационная характеристика 76-летних посевов сосны

№ ПП	Со-став	Средние		Класс бони-тета	Густо-та, шт./га	Относи-тельная полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га	
		диаметр, см	высота, м					
<i>Сосняк вересково-лишайниковый</i>								
1	10С	8,4	9,8	V	5021	1,0	141	
2	10С	13,7	14,1	V	2062	1,0	206	
<i>Сосняк брусничный</i>								
3	10С	19,4	19,4	IV	1160	1,0	329	
4	10С	13,5	17,7	IV	2761	1,1	301	
5	10С	12,2	18,7	IV	3191	1,0	328	
6	10С	11,9	15,7	IV	3806	1,0	248	
<i>Сосняк черничный</i>								
7	8С	19,3	21,6	III	1068	0,7	254	
	2Б	8,0	20,5		206	0,1	57	
					<i>Итого</i>	1274	0,8	311
8	9С	18,1	21,9	III	2089	0,9	381	
	10с	11,4	18,3		309	0,1	25	
					<i>Итого</i>	2398	1,0	406

Так как с повышением влажности теплотворная способность материала значительно уменьшается [25], то ее определяли в абсолютно сухом состоянии. Древесину сосны высушивали в сушильном шкафу при температуре 105 °С в открытых алюминиевых боксах. После извлечения из сушильного шкафа горячие боксы плотно закрывали крышками и помещали в эксикатор с хлористым кальцием.

Для изучения влияния ассимиляционного аппарата на теплотворную способность древесины хвою всех возрастов отбирали со средней ветви кроны модельного дерева. Длину, ширину и толщину хвоинки измеряли штангенциркулем. Из средней части хвоинки готовили поперечные срезы с использованием санного микротомы МС-2. Измеряли диаметр и площадь смоляных ходов, центрального цилиндра, проводящих пучков, толщину эндодермы, эпидермы, гиподермы, используя микроскоп Axio Scope.A1 с объективом A-Plant 10x/0,25 M27 и программное обеспечение IMAGE-PRO INSIGHT 8,0.

*Результаты исследования и их обсуждение*

В сосняках вересково-лишайниковых средняя теплоемкость древесины сосны составляет (20 731±133) Дж/г; в сосняках брусничных – (20 618±141) Дж/г; в сосняках черничных – (20 513±104) Дж/г при относительно схожих характеристиках древостоя. Изменчивость показателя малая – до 3 %. Отмечается тенденция к снижению коэффициента изменчивости теплоемкости древесины от сосняков вересково-лишайниковых к соснякам черничным от 2,5 до 0,8 %. Можно отметить тенденцию к снижению теплоемкости древесины с улучшением лесорастительных условий, но различие средних значений теплоемкости незначимо. Согласно исследованиям ряда авторов [9, 13], для сосняков мохово-лишайниковых характерна повышенная смолопродуктивность, по мере ее

снижения они располагаются следующим образом: сосняки брусничные, сосняки черничные. Повышенная смолопродуктивность в сосняках лишайниковых объясняется В.И. Сухановым [13] лучшим прогреванием почв в течение вегетационного периода, особенно весной и в начале лета. Повышенная смолистость древесины способствует более высокой теплоте сгорания [2, 3, 5, 10].

Если сравнивать теплоемкость древесины сосны между различными ПП, то значимо отличается сосняк вересково-лишайниковый с наибольшей густотой (5021 шт./га), теплотворная способность древесины сосны в котором составляет (21 462±316) Дж/г (табл. 2). Достоверность различия – от 3,5 до 4,9 при вероятности безошибочного заключения  $p = 0,95$  при  $t_{st} = 3,2$ .

Таблица 2

## Теплотворная способность древесины сосны (Дж/г)

№ ПП	Средняя теплотворная способность древесины сосны	№ ПП	Средняя теплотворная способность древесины сосны
1	21 462,0±315,7	5	20 473,3±153,6
2	20 730,7±133,1	6	20 662,0±251,7
3	20 785,0±102,0	7	20 541,5±119,5
4	20 551,0±55,0	8	20 483,0±86,7

При сокращении густоты древостоя на 1215–3861 шт./га теплоемкость древесины сосны уменьшается на 3,0...4,5 %. Корреляционный анализ позволил обнаружить значительную связь теплоемкости древесины и густоты древостоя ( $r = 0,59$ ). Выявлена высокая обратная корреляционная зависимость теплоемкости древесины сосны от средней высоты древостоя ( $r = -0,83$  при  $t = 7,50$ ). На зависимость теплотворной способности древесины от высоты дерева указывали авторы [2, 30]. Согласно В.Я. Бондареву, Л.М. Гусевой [2], чем больше высота дерева, тем выше теплота сгорания. Наибольшая теплота сгорания отмечается у видов с наибольшим содержанием лигнина и экстрактивных веществ [23]. С улучшением условий произрастания (светового и водного режима) смолопродуктивность дерева повышается [9]. Однако у тонкомерной древесины меньше целлюлозы, больше лигнина, пентозанов и смол [6]. Корреляционная зависимость теплотворной способности древесины от содержания лигнина высокая (коэффициент корреляции  $r = 0,7$  [23];  $0,76$  [29];  $0,86$  [11]), экстрактивных веществ – только значительная ( $r = 0,56$  [23]).

Различия теплотворной способности древесины сосны между мелким, средним и крупным деревом по диаметру в древостое составляют 176...999 Дж/г. В 50 % случаев мелкие деревья имели наибольшие значения теплотворной способности древесины, в 25 % случаев – средние значения, в 25 % случаев – наименьшие значения. Корреляционной зависимости теплотворной способности древесины от диаметра дерева не выявлено ( $r = -0,22$ , корреляционное отношение равно  $0,27$ ). Это подтверждается исследованиями W.A. Nough (1969) [19], согласно которым скорость роста и возраст дерева не оказывают значительного влияния на теплоту сгорания.

Влияние структуры годичного слоя на теплотворную способность древесины сосны неоднозначно (табл. 3). Выявлена значительная криволинейная корреляционная зависимость от ширины годичного слоя, ширины ранней зоны годичного слоя и процента поздней древесины.

Таблица 3

**Влияние структуры годичного слоя на теплотворную способность  
древесины сосны**

Показатель корреляционной связи*	Ширина			Процент поздней древесины в годичном слое
	годичного слоя	ранней зоны годичного слоя	поздней зоны годичного слоя	
r	-0,28	-0,32	-0,17	0,50
m <sub>r</sub>	0,17	0,17	0,18	0,14
t	1,60	1,90	0,90	3,60
η	0,67	0,59	0,50	0,69
m <sub>η</sub>	0,10	0,12	0,14	0,09
t	6,50	4,70	3,60	7,00

\*r – коэффициент корреляции; m<sub>r</sub> – ошибка коэффициента корреляции; η – корреляционное отношение; m<sub>η</sub> – ошибка корреляционного отношения; t – достоверность.

На теплотворную способность древесины оказывает влияние смолистость дерева, в свою очередь зависящая от характеристик кроны и хвои [16, 17]. Рассмотрим влияние характеристик хвои на данный показатель более детально (табл. 4), с использованием усредненных значений параметров хвои первых трех лет побегов первого и второго порядков.

Отмечается высокая значимая прямая корреляционная зависимость теплотворной способности древесины от диаметра смоляных ходов и обратная зависимость от количества хвои на ветви. С сокращением количества хвои на ветви теплотворная способность древесины возрастает. В.А. Шульгин [17] и А.В. Чудный [16] указывали, что общее количество хвои у высокосмолопродуктивных сосен намного меньше, чем у сосны обычной смолопродуктивности.

Характерной особенностью деревьев высокой смолопродуктивности они считали разреженность кроны и, как следствие, увеличение поверхности световой хвои. Изреживание кроны, сокращение числа ветвей и количества хвои на ветви происходит при увеличении густоты древостоя [15]. Значительная корреляционная зависимость теплотворной способности древесины сосны от толщины покровной ткани хвои является косвенной, так как при повышении густоты древостоя увеличивается теплотворная способность древесины за счет разреживания кроны и роста доли световой хвои. Особенностью световой хвои является утолщение покровных тканей. При уменьшении количества хвои на ветви возрастает диаметр смоляных ходов. Корреляционная зависимость данных показателей высокая, обратная значимая (r = -0,87 при t = 10). Следовательно, характеристики ассимиляционного аппарата (количество смоляных ходов в поперечном сечении хвои, количество хвои на ветви) могут выступать индикаторами теплотворной способности древесины сосны.

Таблица 4

## Влияние характеристик хвой на теплотворную способность древесины сосны

Признак	Коэффициент корреляции	Признак	Коэффициент корреляции
Длина хвоинки	-0,03	Толщина эндодермы	-0,31
Ширина хвоинки	-0,41	Диаметр смоляных ходов	0,88
Толщина хвоинки	-0,09	Толщина эпидермы	0,67
Площадь поверхности хвоинки	-0,09	Площадь проводящих пучков в поперечном сечении хвоинки, %	-0,65
Площадь поперечного сечения хвоинки	-0,14	Площадь смоляных ходов в поперечном сечении хвоинки, %	0,40
Объем хвоинки	-0,08	Площадь покровных тканей в поперечном сечении хвоинки, %	0,64
Количество смоляных ходов	-0,25	Площадь центрального цилиндра в поперечном сечении хвоинки, %	-0,34
Площадь центрального цилиндра	-0,47	Площадь мезофилла в поперечном сечении хвоинки, %	-0,10
Отношение площади центрального цилиндра к площади поперечного сечения	-0,37	Количество хвой на ветви	-0,75

*Выводы*

1. Установлено, что средняя теплотворность древесины сосны в сосняках вересково-лишайниковых составляет (20 731±133) Дж/г; в сосняках брусничных – (20 618±141) Дж/г; в сосняках черничных – (20 513±104) Дж/г при густоте древостоя от 1160 до 3806 шт./га.

2. Выявлена значительная корреляционная зависимость теплотворной способности древесины сосны от густоты древостоя: высокая обратная – от средней высоты древостоя; значительная – от процента поздней древесины в годичном слое.

3. Количество хвой на ветви является индикатором теплотворной способности древесины ( $r = -0,75$  при  $t = 8,6$ ).

4. Полученные в процессе исследования параметры теплотворной способности древесины сосны могут использоваться как качественные характеристики растительного сырья.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Адамов М.Г. Об энергетических возможностях лесов Дагестана // Вестн. Дагестан. гос. ун-та. Сер. 1. Естеств. науки. 2011. Вып. 6. С. 186–188. [Adamov M.G. On the Energy Potential of Dagestan Forests. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 1. Estestvennyye nauki* [Herald of Dagestan State University. Series 1. Natural Sciences], 2011, vol. 6, pp. 186–188].



2. Бондарев В.Я., Гусева Л.М. Особенности подготовки сырья для пиролиза древесины // Лесн. хоз-во – 2013. Актуальные проблемы и пути их решения: междунар. научн.-практ. интернет-конф. Н. Новгород, 2014. С. 92–97. [Bondarev V.Ya., Guseva L.M. Features of Preparation of Raw Materials for Wood Pyrolysis. *Forestry – 2013. Current Problems and Their Solutions: International Scientific and Practical Internet Conference*. Nizhny Novgorod, 2014, pp. 92–97].

3. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с. [Borovikov A.M., Ugolev B.N. *Handbook on Wood*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1989. 296 p.].

4. Ермоченков М.Г., Евстигнеев А.Г. Изменение теплоты сгорания древесного топлива при торрефикации // Лесн. вестн. *Forestry Bulletin*. 2017. Т. 21, № 1. С. 64–68. [Ermochenkova M.G., Evstigneev A.G. Changes of the Calorific Value of Wood Fuel after Torrefaction. *Lesnoy vestnik [Forestry Bulletin]*, 2017, vol. 21, no. 1, pp. 64–68]. DOI: [10.18698/2542-1468-2017-1-64-68](https://doi.org/10.18698/2542-1468-2017-1-64-68)

5. Максимук Ю.В., Пономарев Д.А., Курсевич В.Н., Фесько В.В. Теплота сгорания древесного топлива // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 4. С. 116–129. [Maksimuk Yu.V., Ponomarev D.A., Kursevich V.N., Fes'ko V.V. Calorific Value of Wood Fuel. *Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal]*, 2017, no. 4, pp. 116–129]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2017.4.116](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.4.116), URL: [http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/6a0/1\\_maksimchuk.pdf](http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/6a0/1_maksimchuk.pdf)

6. Никишов В.Д. Комплексное использование древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1985. 264 с. [Nikishov V.D. *Complex Use of Wood*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985. 264 p.].

7. Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. Л.: ЛТА, 1967. 50 с. [Ogiyevskiy V.V., Khиров A.A. *Inspection and Study of Forest Crops*. Leningrad, LTA Publ., 1967. 50 p.].

8. Орстик Л.С., Сорокин Н.Т., Федоренко В.Ф., Буклагин Д.С., Мишуоров Н.П. Биоэнергетика: мировой опыт и прогнозы развития. М.: Росинформагротех, 2008. 404 с. [Orsik L.S., Sorokin N.T., Fedorenko V.F., Buklagin D.S., Mishurov N.P. *Bioenergy: World Experience and Development Forecasts*. Moscow, Rosinformagrotekh Publ., 2008. 404 p.].

9. Петрик В.В. Лесоводственные методы повышения смолопродуктивности сосновых древостоев. Архангельск: АГТУ, 2004. 236 с. [Petrik V.V. *Silvicultural Methods of Increasing the Resin Productivity of Pine Stands*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2004. 236 p.].

10. Рябчук В.П., Юскевич Т.В., Гриб В.М. Физические свойства древесины видов рода сосна // Изв. вузов. Лесн. журн. 2013. № 5. С. 160–169. [Ryabchuk V.P., Yuskevich T.V., Grib V.M. Physical Properties of Pine Wood. *Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal]*, 2013, no. 5, pp. 160–169]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/d0a/mtd1.pdf>

11. Серков В.В., Сивенков А.Б., Тхань Б.Д., Асеева Р.М. Тепловыделение при горении древесины // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2003. № 5. С. 74–79. [Serkov V.V., Sivenkov A.B., Than' B.D., Aseeva R.M. Heat Release during Wood Burning. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik [Forestry Bulletin]*, 2003, no. 5, pp. 74–79].

12. Соколов Н.Н. Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей. Архангельск: АЛТИ, 1978. 44 с. [Sokolov N.N. *Methodology Guidelines for the Diploma Project on the Valuation of Trial Plots*. Arkhangelsk, ALTI Publ., 1978. 44 p.].

13. Суханов В.И. Зонально-типологические особенности смолопродуктивности сосновых насаждений // Лесоводственные исследования на зонально-типологической основе. Архангельск: АИЛЛХ, 1984. С. 39–44. [Sukhanov V.I. Zonal-Typological Features of Resin Productivity of Pine Plantations. *Silvicultural Studies on the Zonal-Typological Basis*. Arkhangelsk, AILLKh Publ., 1984, pp. 39–44].

14. Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Болотов И.Н., Филиппов Б.Ю., Адай Д.М. Биологическая продуктивность культур сосны обыкновенной северотаежного лесного района // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 6. С.101–108. [Tyukavina O.N., Klevtsov D.N., Bolotov I.N., Filippov B.Yu., Adayi D.M. Biological Productivity of Scots Pine Cultures in the Northern Taiga Forest Area. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 101–108]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2018.6.101](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.6.101), URL: [http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b75/101\\_108.pdf](http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b75/101_108.pdf)
15. Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут В.М. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: АГТУ, 1997. 140 с. [Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Barzut V.M. *Biological and Ecological Features of Pine Growth in the Northern Subzone of European Taiga*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 1997. 140 p.]
16. Чудный А.В. О некоторых признаках и свойствах сосен высокой и низкой смолопродуктивности в Кировской области // Селекция и семеноводство древесных пород. М.: Лесн. пром-сть, 1965. С. 97–111. [Chudnyy A.V. On Some Features and Properties of Pines of High and Low Resin Productivity in the Kirov Region. *Breeding and Seed Production of Tree Species*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1965, pp. 97–111].
17. Шульгин В.А. Отбор и разведение сосен высокой смолопродуктивности. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 87 с. [Shul'gin V.A. *Selection and Breeding of Pine Trees of High Resin Productivity*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 87 p.]
18. Gravalos I., Kateris D., Xyradakis P., Gialamas T., Loutridis S., Augousti A., Georgiades A., Tsiropoulos Z. A Study on Calorific Energy Values of Biomass Residue Pellets for Heating Purposes. *Proceedings of the 43th International Symposium on Forestry Mechanisation: "Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment"*, Padova, July 11–14, 2010. Padova, Italy, 2010, pp. 1–9.
19. Hough W.A. *Caloric Value of Some Forest Fuels of the Southern United States*. USDA Forest Service Research Note SE-120. Asheville, NC, Southeastern Forest Experiment Station, 1969. 6 p.
20. Janssen R., Helm P., Grimm P., Grassi G., Coda B., Grassi A., Agterberg A., Fjällström T., Lindstedt J., Moreira J.R., Masera O., Baoshan Li, Sada Sy B. A Global Network on Bioenergy – Objectives, Strategies and First Results. *Proceedings of the 12th European Conference and Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Amsterdam, June 17–21, 2002*. Amsterdam, 2002.
21. Karjalainen T., Asikainen A., Ilavsky J., Zamboni R., Hotari K.-E., Röser D. Estimation of Energy Wood Potential in Europe. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 6*. Finland, MELTA, 2004. 43 p.
22. Librenti E., Ceotto E., Candello M. Biomass Characteristics and Energy Contents of Dedicated Lignocellulose Crops. *Biomass and Waste*, 2010, pp. 7–8.
23. Nasser R.A., Aref I.M. Fuelwood Characteristics of Six Acacia Species Growing Wild in the Southwest of Saudi Arabia as Affected by Geographical Location. *BioResources*, 2014, no. 9(1), pp. 1212–1214.
24. Obernberger I., Thek G. Physical Characterisation and Chemical Composition of Densified Biomass Fuels with Regard to Their Combustion Behavior. *Biomass and Bioenergy*, 2004, vol. 27, iss. 6, pp. 653–669. DOI: [10.1016/j.biombioe.2003.07.006](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2003.07.006)
25. Orémusová E., Tereňová L., Réh R. Evaluation of the Gross and Net Calorific Value of the Selected Wood Species. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1001, pp. 292–299. DOI: [10.4028/www.scientific.net/AMR.1001.292](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1001.292)



26. Petersen Raymer A.K. A Comparison of Avoided Greenhouse Gas Emissions When Using Different Kinds of Wood Energy. *Biomass and Bioenergy*, 2006, vol. 30, iss. 7, pp. 605–617. DOI: [10.1016/j.biombioe.2006.01.009](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.01.009)

27. Quaak P., Knoef H., Stassen H. *Energy from Biomass: A Review of Combustion and Gasification Technologies*. World Bank Technical Paper 422. Washington, DC, World Bank, 1999. 78 p.

28. Ravindranath N.H., Balachandra P., Dasappa S., Usha Rao K. Bioenergy Technologies for Carbon Abatement. *Biomass and Bioenergy*, 2006, vol. 30, iss. 10, pp. 826–837. DOI: [10.1016/j.biombioe.2006.02.003](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.02.003)

29. White R.H. Effect of Lignin Content and Extractives on the Higher Heating Value of Wood. *Wood and Fiber Science*, 1987, vol. 19(4), pp. 446–452.

30. Zeng W.-S., Tang S.-Z., Xiao Q.-H. Calorific Values and Ash Contents of Different Parts of Masson Pine Trees in Southern China. *Journal of Forestry Research*, 2014, vol. 25, iss. 4, pp. 779–786. DOI: [10.1007/s11676-014-0525-3](https://doi.org/10.1007/s11676-014-0525-3)

#### CALORIFIC VALUE OF PINE WOOD IN CROPS OF THE NORTHERN TAIGA FOREST AREA

*Olga N. Tyukavina*<sup>1</sup>, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [H-2336-2019](https://orcid.org/0000-0003-4024-6833),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4024-6833>

*Denis N. Klevtsov*<sup>1</sup>, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [A-7791-2019](https://orcid.org/0000-0001-6902-157X),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6902-157X>

*D.M. Adaj*<sup>1,2</sup>, Postgraduate Student

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

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

**Abstract.** Calorific value of plants is an important characteristic for evaluation of material cycles and energy conversion in forest ecosystems, as well as a qualitative characteristic of plant raw materials as fuel. Wood biofuel is increasingly used in the production of thermal energy, in this regard, it is important to study the calorific value of wood, as well as the conditions for growing high-quality raw materials. The research purpose is to identify the dependence of the calorific value of pine wood in crops on its macroscopic structure, the assimilation apparatus characteristics, density and height of the stand. Small, medium, and large not damaged model trees without pathologies were selected on temporary sample plots. Cores from which were taken with an increment borer at a height of 1.3 m to measure radial growth on the semi-automatic complex Lintab-6 with an accuracy of  $\pm 0.01$  mm. The calorific value of pine wood was determined in an absolutely dry state using an automated bomb calorimeter ABK-1V. To study the influence of the assimilating apparatus on the wood calorific value, needles of all ages were selected from the middle branch of the model tree crown. Cross sections were prepared from the middle part of a needle using a sledge microtome MS-2. Histological elements of a needle were measured by the Axio Scope.A1 microscope using the IMAGE-PRO INSIGHT 8.0 software. The average heat capacity of pine wood in heath-lichen pine forests is  $(20\ 731 \pm 133)$  J/g;

in cowberry pine forests – (20 618±141) J/g; in bilberry pine forests – (20 513±104) J/g at a stand density from 1160 to 3806 pcs/ha. The highest pine wood heat capacity is found in heath-lichen pine forests with the density of stand 5021 pcs/ha. The increased pine wood heat capacity in pine forests with high stand density is due to a reduction in the number of needles on the branch ( $r = -0.75$ ) and an increase in the diameter of resin channels ( $r = -0.88$ ). The influence of the average stand height and the annual layer structure on the calorific value of pine wood was found.

**For citation:** Tyukavina O.N., Klevtsov, D.N., Adaj D.M. Calorific Value of Pine Wood in Crops of the Northern Taiga Forest Area. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 1, pp. 82–91. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-1-82-91

*Keywords:* calorific value, wood, pine, forest type, radial growth, needles.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
The authors declare that there is no conflict of interest*

Поступила 29.11.19 / Received on November 29, 2019

---