

ТЕПЛОТВОРНАЯ СПОСОБНОСТЬ ФРАКЦИЙ НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ТАЕЖНОГО ЛЕСНОГО РАЙОНА

О.Н. Тюкавина^{1✉}, Д.Н. Клевцов¹, В.И. Мелехов¹, Н.А. Неверов²

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), Россия, 163002, г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

²ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаврова УрО РАН, Институт геодинамики и геологии», Россия, 163020, г. Архангельск, пр. Никольский, д. 20

o.tukavina@narfu.ru

Приведены результаты оценки теплотворной способности фракций наземной фитомассы культур сосны 76-летнего возраста в лишайниковом, брусничном и черничном типах условий местопроизрастания северо-таежного лесного района. Определена теплотворная способность древесины, коры, древесной зелени, ветвей, сухих сучьев в абсолютно сухом состоянии с помощью автоматизированного бомбового калориметра АБК-1В. Установлено отсутствие значимого влияния типа леса на теплотворную способность фракций наземной фитомассы сосны. Выявлена корреляционная зависимость теплотворной способности следующих частей сосны: древесины — от средней высоты древостоя, количества хвои на ветви, диаметра смоляных ходов в хвое, коры — от длины и площади поверхности хвоинки, древесной зелени — от диаметра смоляных ходов в хвоинке, площади проводящего пучка в поперечном сечении хвоинки, ветвей — от ширины и доли поздней древесины в годичном слое, площади проводящего пучка, центрального цилиндра и мезофилла в поперечном сечении хвоинки, сухих сучьев — от площади проводящего пучка, центрального цилиндра в поперечном сечении хвоинки. Рекомендуется использовать полученные параметры теплотворной способности фракций наземной фитомассы сосны как качественные характеристики растительного сырья.

Ключевые слова: сосна, теплотворная способность, древесина, кора, древесная зелень, ветви, сухие сучья

Ссылка для цитирования: Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Мелехов В.И., Неверов Н.А. Теплотворная способность фракций наземной фитомассы культур сосны обыкновенной в условиях северо-таежного лесного района // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 2. С. 27–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-27-33

В России заготавливается около 500 млн м³ древесины. При заготовке и переработке древесины образуются лесосечные отходы в количестве 100 млн м³ [1]. К ним относятся целые деревья и их отдельные части. Перерабатывается таких отходов лишь 20 % таких отходов [2]. В Архангельской области очень малый процент площадей лесных территорий, занимаемых приспевающими хвойными насаждениями (5,4 %), который не позволит в будущем компенсировать вырубаемые спелые и перестойные древостои [3]. Существенной экономической поддержкой арендаторов лесных участков к заготовке древесины может стать сбор и переработка отходов лесозаготовки как биоэнергетического ресурса [4].

Это направление приобретает актуальность при переводе части региональных котельных на биотопливо и в случае экспорта, поскольку данный вид топлива востребован за рубежом [5, 6].

В Архангельской области за последние 10 лет увеличились лесные площади, охваченные рубками ухода. При этом долгомошные и сфагновые типы леса занимают 46 % площади всех лесов [3], поэтому перспективным направлением стано-

вится утилизация низкосортной древесины. При невозможности реализации таких органических отходов в качестве вторичного ресурса их следует рассматривать как биотопливо [7–9]. Очистка вырубок и использование хвои для брикетирования могут служить не только альтернативным источником энергии, но и снижать опасность возникновения лесных пожаров [10, 11].

Брикетирование биоотходов — это содействие устойчивому развитию альтернативных источников энергии [12], что, несомненно, улучшит качество окружающей среды вследствие снижения объема поступающих отходов, образующихся в результате переработки каменного угля, природного газа и др. [13–15]. В современных условиях подтверждена эффективность котлов, работающих на биотопливе, поскольку они характеризуются сравнительно низким уровнем выбросов.

Такие котлы представляют собой небольшой резервуар с автоматической подачей гранул в камеру сгорания. Срок службы установок обусловлен качеством сырья. Характерным параметром является содержание золы, которая обуславливает теплотворную способность сырья. Однако высокое содержание золы снижает эффективность печи, потенциально разрушает ее внутренние

Таксационная характеристика культур сосны

Taxation characteristics of pine forest plantation

Номер пробной площади	Состав древостоя	Средние значения		Класс бонитета	Густота древостоя, шт./га	Относительная полнота	Запас древесины, м ³ /га
		диаметр ствола, см	высота, м				
Сосняк вересково-лишайниковый							
1	10С	8,4	9,8	V	5021	1,0	141
2	10С	13,7	14,1	V	2062	1,0	206
Сосняк брусничный							
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
Сосняк черничный							
7	8С2Б	19,3	21,6	III	1274	0,8	311
8	9С1Ос	18,1	21,9	III	2398	1,0	406

металлические компоненты и требует более частой чистки [16]. Отсюда следует необходимость выявления оптимального соотношения компонентов в целях достижения максимальной стойкости печи к разрушению и водопоглощению и высокой теплотворной способности биотоплива [11].

Для использования фракций надземной фитомассы деревьев в качестве источника энергии важно оценить объем их запасов и уровень теплотворной способности [17–19]. Теплотворная способность растительного сырья является не только показателем качества биотоплива, но и параметром оценки и индексирования материально-энергетических циклов в лесных экосистемах [17, 20], рисков случайных и преднамеренных лесных пожаров, сжигания ископаемого топлива, изменений климата и возможности достижения локальной и глобальной углеродной нейтральности [17].

Цель работы

Цель работы — оценка теплотворной способности фракций наземной фитомассы культур сосны обыкновенной.

Материалы и методы

Исследования проведены в Емецком лесничестве, расположенном в пределах северо-таежного лесного района. Объект исследований — 76-летние культуры сосны обыкновенной в лишайниковом, брусничном и черничном типах лесорастительных условий (табл. 1). Культуры сосны были созданы посевом семян на площадках размером 0,3×0,5 м по 20...30 шт. Уход за культурами не проводился.

Заложение пробных площадей (ПП) и отбор образцов проводили по стандартным методикам [21]. На каждой ПП отбирали в трехкратной повторно-

сти мелкое, среднее и крупное модельные деревья. Прирост стволовой древесины определяли с помощью полуавтоматического устройства LINT-AB-6 с точностью до ±0,01 мм. Теплотворную способность древесины определяли в абсолютно сухом состоянии с помощью автоматизированного калориметра сгорания бомбового АБК-1В.

Ассимиляционный аппарат 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 микротомы санного МС-2. Измеряли параметры гистологических элементов микроскопом Zeiss Axio Scope.A1 с помощью программного обеспечения IMAGE-PRO INSIGHT 8,0.

Результаты и обсуждение

Среднее значение теплотворной способности фракций надземной фитомассы сосны изменяется от 20 500 до 22 100 Дж/г (табл. 2). Теплотворная способность коры, древесной зелени, ветвей в разных типах леса значимо не различается. Коэффициент изменчивости составляет от 0,2 до 1,9 %, т. е. изменчивость невелика. Теплотворная способность древесины в сосняках черничных и брусничных значимо не различается. В сосняках лишайниковых средняя теплоемкость древесины сосны может отличаться на 3,4 %. Различие с сосняком черничным составляет 21 462 ± 316 Дж/г, с брусничным — 20 731 ± 133 Дж/г. С улучшением лесорастительных условий отмечается тенденция снижения теплотворной способности сухих сучьев. В сосняках черничных теплотворная способность сухих сучьев сосны ниже на 2,0 % по сравнению с сосняками лишайниковыми и на 1,9 % по сравнению с сосняками брусничными ($t = 5,6$ и $t = 2,4$ соответственно при $t_{st} = 3,2$; $p = 0,95$).

Теплотворная способность фракций надземной фитомассы сосны

Calorific value of pine aerial phytomass fractions

Тип леса	Фракции надземной фитомассы, Дж/г				
	Древесина	Кора	Древесная зелень	Ветви	Сухие сучья
Сосняк лишайниковый	21005 ± 105	21233 ± 146	22103 ± 77	21177 ± 19	21077 ± 63
Сосняк брусничный	20602 ± 54	21479 ± 87	21878 ± 107	21057 ± 107	21377 ± 162
Сосняк черничный	20535 ± 42	21446 ± 47	22051 ± 51	21263 ± 66	20655 ± 41

В сосняках лишайниковых при сокращении густоты древостоя в 2,4 раза теплотворная способность сократилась на 3,4 %. Однако в сосняках брусничных при сокращении густоты древостоя в 3,3 раза изменение теплотворной способности древесины не зафиксировано. При анализе влияния таксационных характеристик древостоя на теплотворную способность фракций надземной фитомассы сосны обыкновенной выявлена только высокая обратная теснота связи теплотворной способности древесины сосны и средней высоты древостоя ($r = -0,83$ при $t = 7,50$), что согласуется с результатами исследований других авторов [20, 22].

Наибольшей теплотворной способностью характеризуется преимущественно древесная зелень, наименьшей — древесина. Теплотворная способность древесной зелени значимо превосходит все остальные рассматриваемые фракции на 2,8...7,4 %. В большинстве случаев значение теплотворной способности сухих сучьев примерно соответствует таковым древесины, а ветвей — теплотворной способности коры. Фракции надземной фитомассы сосны обыкновенной в порядке снижения теплотворной способности располагаются следующим образом:

– ПП № 1 — древесная зелень (22 430 Дж/г) > древесина (21 462 Дж/г) > кора (21 342 Дж/г) > ветви (21 233 Дж/г) > сухие сучья (20 960 Дж/г);

– ПП № 2 — древесная зелень (21 999 Дж/г) > сухие сучья (21 303 Дж/г) > кора (21 123 Дж/г) > ветви (21 109 Дж/г) > древесина (20 731 Дж/г);

– ПП № 3 — древесная зелень (22 038 Дж/г) > кора (21 569 Дж/г) > ветви (20 917 Дж/г) > сухие сучья (20 857 Дж/г) > древесина (20 785 Дж/г);

– ПП № 4 — древесная зелень (22 855 Дж/г) > ветви (21 464 Дж/г) > сухие сучья (21 440 Дж/г) > кора (21 330 Дж/г) > древесина (20 551 Дж/г);

– ПП № 5 — древесная зелень (22 112 Дж/г) > кора (21 377 Дж/г) > сухие сучья (21 252 Дж/г) > ветви (20 762 Дж/г) > древесина (20 473 Дж/г);

– ПП № 6 — древесная зелень (21 425 Дж/г) > сухие сучья (21 417 Дж/г) > кора (21 282 Дж/г) > ветви (21 122 Дж/г) > древесина (20 662 Дж/г);

– ПП № 7 — древесная зелень (21 932 Дж/г) > кора (21 489 Дж/г) > ветви (21 108 Дж/г) > сухие сучья (20 594 Дж/г) > древесина (20 542 Дж/г);

– ПП № 8 — древесная зелень (22 246 Дж/г) > ветви (21 481 Дж/г) > кора (21 348 Дж/г) > сухие сучья (20 779 Дж/г) > древесина (20 483 Дж/г).

Изменение позиций в ранжировании фракций надземной фитомассы деревьев по теплотворной способности обсуждается в работе [20] и определяется содержанием экстрактивных веществ, зольностью и разницей данного показателя между рангами [23]. Чем выше содержание углерода в биомассе, тем выше теплота сгорания [24]. На теплоту сгорания оказывает влияние содержание лигнина и экстрактивных веществ [25]. Кора, ветви и хвоя, как правило, обладают более высокой теплотворной способностью вследствие повышенной концентрации смолы и лигнина [17]. В результате закономерно выявление высокой значимой тесноты связи теплотворной способности ветвей с шириной поздней зоны годичного слоя, с процентом поздней древесины ($r = 0,74$ при $t = 6,5$; $r = 0,79$ при $t = 8,3$ соответственно). Смоляные ходы приурочены к поздней зоне годичного кольца. Теснота связи теплотворной способности древесины с приростом поздней древесины и доли ее в годичном слое лишь умеренная. Остальные фракции надземной фитомассы сосны не коррелируют с обсуждаемыми показателями.

Хвоя является индикатором благополучия лесорастительных условий [26]. Качество лесорастительных условий обуславливает синтез экстрактивных веществ. В связи с этим морфологические и анатомические показатели хвои способны характеризовать теплотворную способность дерева [21]. Таким образом, чем больше количество хвои на ветви, тем ниже теплотворная способность стволовой древесины и коры ($r = -0,75$ при $t = 7,0$; $r = -0,54$ при $t = 3,8$ соответственно). При увеличении количества хвои на ветви уменьшаются диаметры смоляных ходов ($r = -0,87$ при $t = 10$). В результате чем больше диаметры смоляных ходов, тем выше теплотворная способность древесины (табл. 3). Теснота связи между данными показателями высокая значимая. Смолоносная система хвои и древесины не имеют взаимной связи, хотя смолоносная система хвои в целом отражает интенсивность синтеза живицы деревом.

Теснота связи между диаметром смоляных ходов и теплотворной способностью древесной

Корреляционная связь характеристик хвои с теплотворной способностью фракций надземной фитомассы сосны

Correlation of the needles characteristics of with the calorific value of pine aerial phytomass fractions

Признак	Теплотворная способность фракций, Дж/г									
	Древесина		Кора		Древесная зелень		Ветви		Сухие сучья	
	Кк	Дкк	Кк	Дкк	Кк	Дкк	Кк	Дкк	Кк	Дкк
Длина хвоинки, мм	-0,03	0,1	0,77	7,8	-0,11	0,5	0,07	0,3	-0,13	0,5
Площадь поверхности хвоинки, мм ²	-0,14	0,4	0,72	6,0	0,03	0,1	-0,26	1,1	-0,39	1,9
Диаметр смоляного хода, мкм	0,88	10,6	0,34	1,6	0,59	4,0	0,04	0,15	-0,38	1,8
Площадь проводящего пучка в поперечном сечении хвои, %	-0,65	4,5	0,01	0,04	-0,65	4,5	0,67	4,8	0,66	4,7
Площадь центрального цилиндра в поперечном сечении хвои, %	-0,34	1,6	0,02	0,08	-0,40	1,9	0,66	4,6	0,72	6,0
Площадь мезофилла в поперечном сечении хвоинки, %	-0,1	0,4	0,08	0,3	0,01	0,1	-0,72	5,9	-0,48	2,5

Кк — коэффициент корреляции; Дкк — достоверность коэффициента корреляции.

зелени ниже по сравнению с древесиной ($r = 0,59$ при $t = 4$). Это обусловлено составом древесной зелени из хвои и мелких веточек, которые отличаются стабильно повышенным уровнем концентрации смолы.

Синтез живицы связан с водным режимом дерева, интенсивность которого отражается на размерах центрального цилиндра хвоинки и соотношении в ней проводящей и ассимилирующей ткани. С улучшением условий произрастания площадь центрального цилиндра в поперечном сечении хвои возрастет за счет площади мезофилла [26]. С увеличением площади центрального цилиндра в поперечном сечении хвоинки возрастает теплотворная способность ветвей и сухих сучьев ($r = 0,66$ при $t = 4,6$; $r = 0,72$ при $t = 6,0$ соответственно). Теплотворная способность коры коррелирует с длиной хвоинки ($r = 0,77$ при $t = 7,8$), которая также является индикатором лесорастительных условий.

Выводы

Оценена теплотворная способность фракций наземной фитомассы культур сосны обыкновенной. Полученные в процессе исследования параметры теплотворной способности древесины сосны могут использоваться как качественные характеристики растительного сырья. Выявленные корреляционные зависимости теплотворной способности древесины сосны от средней высоты древостоя, количества хвои на ветви, диаметра смоляных ходов в хвое; теплотворной способности коры от длины и площади поверхности хвоинки; теплотворной способности древесной зелени от

диаметра смоляных ходов в хвоинке, площади проводящего пучка в поперечном сечении хвоинки; теплотворной способности ветвей от ширины и доли поздней древесины в годичном слое, площади проводящего пучка, центрального цилиндра и мезофилла в поперечном сечении хвоинки; теплотворной способности сухих сучьев от площади проводящего пучка, центрального цилиндра в поперечном сечении хвоинки могут применяться для прогноза энергетической ценности древостоя.

Список литературы

- [1] Куницкая О.А., Помигуев А.В., Бурмистрова Д.Д., Тихонов Е.А., Стородубцева Т.Н. Результаты экспериментальных выдержек брикетирования лесосечных отходов в условиях лесных терминалов // Лесотехнический журнал, 2021. № 3. С. 109–120.
DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.3/9
- [2] Алексеенко А.А., Шушпанова Д.В. Переработка древесины лесоперерабатывающего комплекса России и ее отходов во вторичные продукты // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология, химия, 2021. Т. 7 (73). № 2. С. 3–13.
- [3] Ильинцев А.С., Шамонтьев И.Г., Третьяков С.В. Современная динамика лесопользования в бореальных лесах России (на примере Архангельской области) // Лесотехнический журнал, 2021. № 3. С. 45–62.
DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/4
- [4] Сунгурова Н.Р., Клевцов Д.Н. Биоэнергетический потенциал северных лесов // Хвойные бореальной зоны, 2021. Т. 39. № 5. С. 385–391.
- [5] Pishvae Mir S., Mohseni Sh., Bairamzadeh S. Biomass to Biofuel Supply Chain Design and Planning under Uncertainty. Book: Academic Press. 2020. 271 p.
<https://doi.org/10.1016/C2019-0-01795-5>
- [6] Whitaker J., Field J.L., Bernacchi C.J., Cerri C.P., Ceulemans R., Davies C.A., De Lucia E.H., Donnison I.S., Mc Calmont J.P., Paustian K., Rowe R.L., Smith P., Thorn-

- ley P., Mc Namara N.P. Consensus, uncertainties and challenges for perennial bioenergy crops and land use // *GCB Bioenergy*, 2019, v. 10, no. 3, pp. 150–164. DOI: 10.1111/gcbb.12488
- [7] Ширинкина Е.С., Вайсман Я.И., Курило О.Н. Использование энергетического потенциала органических отходов при их сжигании на утилизационных установках // *Экология и промышленность России*, 2018. Т. 22. № 7. С. 54–58. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-7-54-58
- [8] Agrawai A., Sood D. Development and Performance Analysis of Pine Needle Based Downdraft Gasifier System // *Advances in Clean Energy Technologies*, 2021, pp. 163–170. DOI:10.1007/978-981-16-0235-1_13
- [9] Sreekumar A., Mohan O., Kurian V., Mvolo C., Kumar A. A review of Canadian wood conversion technologies for the production of fuels and chemicals // *The Canadian J. of Chemical Engineering*, 2023, pp. 1–29. DOI:10.1002/cjce.24820
- [10] Mandal S., Kumar G.V.P., Bhattacharya T.K., Tanna H.R., Jena P.C. Briquetting of Pine Needles (*Pinus roxburgii*) and Their Physical, Handling and Combustion Properties // *Waste and Biomass Valorization*, 2019, v. 10, pp. 2415–2424. DOI:10.1007/s12649-018-0239-4
- [11] Sharma K.H., Kumain A., Bhattacharya T.K. Characteristic properties of pine needle biochar blocks with distinctive binders // *Current science*, 2020, v. 118, no. 12, p. 25, pp. 1959–1967.
- [12] Rawat S., Kumar S. Critical review on processing technologies and economic aspect of bio-coal briquette production // *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 2021, v. 52, no. 8, pp. 1–17. DOI:10.1080/10826068.2021.2001754
- [13] Ansari T., Chandra G., Gupta P.K., Joshi G., Rana V. Synthesis of pine needle cyanoethyl cellulose using Taguchi L25 orthogonal array // *Industrial Crops and Products*, 2023, v. 191, no. 7–8, p. 115973. DOI:10.1016/j.indcrop.2022.115973
- [14] Ladapo H.L., Alli A.A., Dickson P.O. Evaluation of energy potentials of briquettes produced from maize and sawmill residues // *J. of Research in Forestry, Wildlife and Environment*, 2020, v. 12, no. 3, pp. 192–197.
- [15] Yerima I., Grema M. Z. The Potential of Coconut Shell as Biofuel // *The J. of Middle East and North Africa Sciences*, 2018, v. 4, no. 8, pp. 11–15.
- [16] Krajnc N. Wood fuels handbook. Pristina: Food and agriculture organization of the United Nations, 2015, 31 p.
- [17] Petráš R., Mecko J., Kukla J., Kuklová M. Energy stored in above-ground biomass fractions and model trees of the main coniferous woody plants // *Sustainability*, 2021, v. 13, no. 22, pp. 1–17. DOI:10.3390/su132212686
- [18] Petráš R., Mecko J., Kukla J., Kuklová M. Modelling the development of above-ground biomass energy reserves of four economically important coniferous woody species // *Forests*, 2023, v. 14, no. 2, pp. 388. DOI:10.3390/f14020388
- [19] Rak A.E., Sirajudin M.Sh., Omar S.a.S., Salam M.A. Energy content based on oil palm fronds portions and particle size // *AIP Conference Proceedings*, 2022, v. 2454, no. 1, p. 060025. DOI:10.1063/5.0078498
- [20] Zeng W., Tang S., Xiao Q. Calorific values and ash contents of different parts of Masson pine trees in southern China // *J. of Forestry Research*, 2014, v. 25, no. 4, pp. 779–786. DOI 10.1007/s11676-014-0525-3
- [21] Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Адаи Д.М. Биоэнергетический потенциал надземной фитомассы культур сосны обыкновенной таежной зоны // *ИзВУЗ Лесной журнал*, 2018. № 4 (364). С. 49–55.
- [22] Бондарев В.Я., Гусева Л.М. Особенности подготовки сырья для пиролиза древесины // *Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии*, 2014. № 4. С. 106–110.
- [23] Zhang W., Cai H.D., Nong S.Q. The caloric values of main tree species in Guangxi // *Central South Forest Inventory and Planning*, 2011, v. 30, no. 1, pp. 50–53. DOI:10.1007/s11676-014-0525-3
- [24] Nelson N., Darkwa J., Calautit J., Worall M., Mokaya R., Adjei E., Kemausuor F., Ahiekpor J. Potential of Bioenergy in Rural Ghana // *Sustainability*, 2021, v. 13, no. 1, p. 381. DOI:10.3390/su13010381
- [25] 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. DOI: 10.15376/biores.9.1.1212-1224
- [26] Tyukavina O.N., Neverov N.A., Klevtsov D.N. Influence of growing conditions on morphological and anatomical characteristics of pine needles in the northern taiga // *J. of Forest Science*, 2019, vol. 65, no.1, pp. 33–39. DOI: 10.17221/126/2019-JFS

Сведения об авторах

Тюкавина Ольга Николаевна [✉] — д-р. с.-х. наук, доцент кафедры биологии, экологии и биотехнологии Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), o.tukavina@narfu.ru

Клевцов Денис Николаевич — канд. с.-х. наук, доцент кафедры биологии, экологии и биотехнологии Высшей школы естественных наук и технологий, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), d.klevtsov@narfu.ru

Неверов Николай Александрович — канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы Института геодинамики и геологии, ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаврова УрО РАН, Институт геодинамики и геологии», na-neverov@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.10.2023.

Одобрено после рецензирования 18.12.2023.

Принята к публикации 29.02.2024.

CALORIFIC VALUE OF AERIAL PHYTO MASS FRACTIONS OF SCOTS PINE IN NORTH TAIGA FOREST REGION

O. N. Tyukavina¹✉, D.N. Klevtsov¹, V.I. Melekhov¹, N.A. Neverov²

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 20, Nikolsky Ave., 163020, Arkhangelsk, Russia

o.tukavina@narfu.ru

The estimation results of calorific value fractions of aerial phytomass of 76-year-old pine species in lichen, lingonberry and bilberry types forest conditions of the northern taiga region are presented. The calorific value of wood, bark, foliage, branches, dry twigs in absolutely dry state was determined with automated bomb calorimeter ABK-1V. Not any significant influence of forest type on the calorific value of pine ground phytomass fractions was established. The correlation dependence of calorific value of the following parts of pine was revealed: wood — on the average stand height, number of needles per branch, diameter of resin channel in the needles, bark — on the length and surface area of the needles, woody greenery — on the diameter of resin channels in the needles, area of the vascular bundle in the cross section of the needles, branches — from the width and proportion of late wood in the annual layer, area of the vascular bundle, central cylinder and mesophyll in the cross-section of needles, dry twigs — from the area of the vascular bundle, central cylinder in the cross-section of needles. It is recommended to use the obtained parameters of calorific value of pine aerial phytomass fractions as qualitative characteristics of planting materials.

Keywords: pine, calorific value, wood, bark, foliage, branches, dry twigs

Suggested citation: Tyukavina O.N., Klevtsov D.N., Melekhov V.I., Neverov N.A. *Teplotvornaya sposobnost' fraktsiy nadzemnoy fitomassy kul'tur sosny obyknovennoy v usloviyakh severo-taizhnogo lesnogo rayona* [Calorific value of aerial phytomass fractions of scots pine in north taiga forest region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 2, pp. 27–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-27-33

References

- [1] Kunitskaya O.A., Pomiguyev A.V., Burmistrova D.D., Tikhonov E.A., Storodubtseva T.N. *Rezultaty eksperimental'nykh vyderzhkek briketirovaniya lesosechnykh otkhodov v usloviyakh lesnykh terminalov* [Results of experimental tests for briquetting logging waste in forest terminals]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Journal], 2021, no. 3, pp. 109–120. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.3/9
- [2] Alekseenko A.A., Shushpanova D.V. *Pererabotka drevesiny lesopererabatyvayushchego kompleksa Rossii i ee otkhodov vo vtorichnye produkty* [Processing of wood from the Russian timber processing complex and its waste into secondary products]. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Biologiya, khimiya* [Scientific notes of the Crimean Federal University. IN AND. Vernadsky. Biology, chemistry], 2021, t. 7 (73), no. 2, pp. 3–13.
- [3] Ilyintsev A.S., Shamont'ev I.G., Tret'yakov S.V. *Sovremennaya dinamika lesopol'zovaniya v boreal'nykh lesakh Rossii (na primere Arkhangel'skoy oblasti)* [Modern dynamics of forest management in boreal forests of Russia (on the example of the Arkhangelsk region)]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering Journal], 2021, no. 3, pp. 45–62. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/4
- [4] Sungurova N.R., Klevtsov D.N. *Bioenergeticheskiy potentsial severnykh lesov* [Bioenergy potential of northern forests]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2021, t. 39, no. 5, pp. 385–391.
- [5] Pishvae Mir S., Mohseni Sh., Bairamzadeh S. *Biomass to Biofuel Supply Chain Design and Planning under Uncertainty*. Book: Academic Press. 2020. 271 p. <https://doi.org/10.1016/C2019-0-01795-5>
- [6] Whitaker J., Field J.L., Bernacchi C.J., Cerri C.P., Ceulemans R., Davies C.A., De Lucia E.H., Donnison I.S., Mc Calmont J.P., Paustian K., Rowe R.L., Smith P., Thornley P., Mc Namara N.P. Consensus, uncertainties and challenges for perennial bioenergy crops and land use. *GCB Bioenergy*, 2019, v. 10, no. 3, pp. 150–164. DOI: 10.1111/gcbb.12488
- [7] Shirinkina E.S., Vaysman Ya.I., Kurilo O.N. *Ispol'zovanie energeticheskogo potentsiala organicheskikh otkhodov pri ikh szhiganii na utilitatsionnykh ustanovkakh* [Using the energy potential of organic waste when burning it in recycling plants]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2018, t. 22, no. 7, pp. 54–58. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-7-54-58
- [8] Agrawai A., Sood D. Development and Performance Analysis of Pine Needle Based Downdraft Gasifier System. *Advances in Clean Energy Technologies*, 2021, pp. 163–170. DOI:10.1007/978-981-16-0235-1_13
- [9] Sreekumar A., Mohan O., Kurian V., Mvolo C., Kumar A. A review of Canadian wood conversion technologies for the production of fuels and chemicals. *The Canadian J. of Chemical Engineering*, 2023, pp. 1–29. DOI:10.1002/cjce.24820
- [10] Mandal S., Kumar G.V.P., Bhattacharya T.K., Tanna H.R., Jena P.C. Briquetting of Pine Needles (*Pinus roxburgii*) and Their Physical, Handling and Combustion Properties. *Waste and Biomass Valorization*, 2019, v. 10, pp. 2415–2424. DOI:10.1007/s12649-018-0239-4
- [11] Sharma K.H., Kumain A., Bhattacharya T.K. Characteristic properties of pine needle biochar blocks with distinctive binders. *Current science*, 2020, v. 118, no. 12, v. 25, pp. 1959–1967.
- [12] Rawat S., Kumar S. Critical review on processing technologies and economic aspect of bio-coal briquette production. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 2021, v. 52, no. 8, pp. 1–17. DOI:10.1080/10826068.2021.2001754
- [13] Ansari T., Chandra G., Gupta P.K., Joshi G., Rana V. Synthesis of pine needle cyanoethyl cellulose using Taguchi L25 orthogonal array. *Industrial Crops and Products*, 2023, v. 191, no. 7–8, p. 115973. DOI:10.1016/j.indcrop.2022.115973

- [14] Ladapo H.L., Alli A.A., Dickson P.O. Evaluation of energy potentials of briquettes produced from maize and sawmill residues. *J. of Research in Forestry, Wildlife and Environment*, 2020, v. 12, no. 3, pp. 192–197.
- [15] Yerima I., Grema M. Z. The Potential of Coconut Shell as Biofuel. *The J. of Middle East and North Africa Sciences*, 2018, v. 4, no. 8, pp. 11–15.
- [16] Krajnc N. *Wood fuels handbook*. Pristina: Food and agriculture organization of the United Nations, 2015, 31 p.
- [17] Petráš R., Mecko J., Kukla J., Kuklová M. Energy stored in above-ground biomass fractions and model trees of the main coniferous woody plants. *Sustainability*, 2021, v. 13, no. 22, pp. 1–17. DOI:10.3390/su132212686
- [18] Petráš R., Mecko J., Kukla J., Kuklová M. Modelling the development of above-ground biomass energy reserves of four economically important coniferous woody species. *Forests*, 2023, v. 14, no. 2, pp. 388. DOI:10.3390/f14020388
- [19] Rak A.E., Sirajudin M.Sh., Omar S.a.S., Salam M.A. Energy content based on oil palm fronds potions and particle size. *AIP Conference Proceedings*, 2022, v. 2454, no. 1, p. 060025. DOI:10.1063/5.0078498
- [20] Zeng W., Tang S., Xiao Q. Calorific values and ash contents of different parts of Masson pine trees in southern China. *J. of Forestry Research*, 2014, v. 25, no. 4, pp. 779–786. DOI 10.1007/s11676-014-0525-3
- [21] Tyukavina O.N., Klevtsov D.N., Adai D.M. *Bioenergeticheskiy potentsial nadzemnoy fitomassy kul'tur sosny obyknovennoy taezhnoy zony* [Bioenergy potential of above-ground phytomass of Scots pine crops in the taiga zone]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2018, no. 4 (364), pp. 49–55.
- [22] Bondarev V.Ya., Guseva L.M. *Osobennosti podgotovki syr'ya dlya piroliza drevesiny* [Features of the preparation of raw materials for wood pyrolysis]. *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy]*, 2014, no. 4, pp. 106–110.
- [23] Zhang W., Cai H.D., Nong S.Q. The caloric values of main tree species in Guangxi. *Central South Forest Inventory and Planning*, 2011, v. 30, no. 1, pp. 50–53. DOI:10.1007/s11676-014-0525-3
- [24] Nelson N., Darkwa J., Calautit J., Worall M., Mokaya R., Adjei E., Kemausuor F., Ahiekpor J. Potential of Bioenergy in Rural Ghana. *Sustainability*, 2021, v. 13, no. 1, p. 381. DOI:10.3390/su13010381
- [25] 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. DOI: 10.15376/biores.9.1.1212-1224
- [26] Tyukavina O.N., Neverov N.A., Klevtsov D.N. Influence of growing conditions on morphological and anatomical characteristics of pine needles in the northern taiga. *J. of Forest Science*, 2019, vol. 65, no.1, pp. 33–39. DOI: 10.17221/126/2019-JFS

Authors' information

Tyukavina Ol'ga Nikolaevna✉ — Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, o.tukavina@narfu.ru

Klevtsov Denis Nikolaevich — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, d.klevtsov@narfu.ru

Melekhov Vladimir Ivanovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Logging Production and Materials Processing of the Higher School of Engineering, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Neverov Nikolay Aleksandrovich — Cand. Sci. (Agriculture), Senior researcher of Laboratory of the Deep Geological Structure and Dynamics of the Lithosphere of the Institute of Geodynamics and Geology of the Federal Research Center for the Integrated Study of the Arctic of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences named after N.P. Laverov, na-neverov@yandex.ru

Received 27.10.2023.

Approved after review 18.12.2023.

Accepted for publication 29.02.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest