

four seasonal composited mosaics for the next periods: year, summer, autumn and April-October as it was described by (Roy et al., 2010). The accuracy of the classification models were tested by means of OOB (out-of-bag) error and variable importance were analyzed using %IncMSE provided by the randomForest algorithm for R. Using these measures, the conclusion was drawn that classification which incorporates all four mosaics had the higher accuracy followed by classification of April-October mosaics. The error obtained during classification of other mosaics were significantly higher. It also was found that inclusion of latitude and longitude in the list of predictors tends to increase the accuracy of classification of landcover types for the study territory. We used forward stepwise selection algorithm to analyze the accuracy of classification with different number of predictors (from 2 to 53). Finally, we concluded that the most accurate is the classification which incorporates 36 most important variables including longitude and latitude.

Keywords: Landsat 8 OLI, seasonal composited mosaics, forest mask, Random Forest.

УДК 630*64:630*53

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ДЕРЕВНОЇ БІОМАСИ У ЛІСАХ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

О. В. ШЕВЧУК, здобувач кафедри лісового менеджменту*

Національний університет біоресурсів і природокористування
України

E-mail: a0672192193@gmail.com

Анотація. Використання деревної біомаси лісів для енергетичних цілей є структурною складовою організації системи сталого використання лісових ресурсів. У цьому контексті, у межах цієї роботи запропоновано кількісну оцінку щорічного енергетичного потенціалу деревної біомаси у лісах Київської області, яка враховує концептуальні засади сталого управління лісовим господарством.

У результаті виконання дослідження встановлено кількісні показники вмісту енергії у фітомасі насаджень досліджуваного регіону, а також їхню енергопродуктивність. Загалом у насадженнях області акумульовано понад 1960 ПДж енергії, а їхня енергопродуктивність становить близько 112 ПДж·рік⁻¹. При цьому найвищою енергопродуктивністю характеризуються твердолистяні деревостани – 235 ГДж·га⁻¹·рік⁻¹.

Здійснено розрахунок п'яти типів енергетичного потенціалу деревної біомаси, які враховують аспекти екологічної безпеки, економічного розвитку регіону та соціальні особливості життя місцевих

* Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук, професор П. І. Лакида.

© О. В. Шевчук, 2017

громад. *Кількісне значення щорічного енергетичного потенціалу деревної біомаси у лісах Київської області змінюється від 18,4 до 8,4 ПДж, залежно від його типу.*

Ключові слова: *Київська область, енергетичний потенціал, деревна біомаса, стале лісоуправління, енергія, лісові ресурси.*

Актуальність. У сучасних українських реаліях питання енергетичного забезпечення позиціонується, насамперед, як фактор національної безпеки країни, а вже потім розглядається у контексті розвитку конкурентоспроможної вітчизняної економіки. Зважаючи на значну частку імпортованих енергоресурсів у загальному балансі енергоспоживання, стратегічні рішення для забезпечення енергонезалежності країни та енергоефективності національної економіки мають базуватися на максимізації використання місцевих видів відновлювальних джерел енергії, серед яких важливе місце належить деревній біомасі лісів. Загалом її енергетичний потенціал поступається за обсягом потенціалу сільськогосподарської біомаси, однак у багатолісних регіонах України вона є вагомим складовим у структурі енергозабезпечення населення, об'єктів соціальної інфраструктури та підприємств лісової й деревообробної галузі.

Нині світові наукові тенденції у дослідженні енергетичної ролі лісів спрямовані на розроблення механізмів комплексного використання лісових ресурсів, що базуються на засадах сталого розвитку та розвитку низьковуглецевої глобальної економіки [3; 6; 7].

Мета дослідження – реалізувати комплексну оцінку енергетичного потенціалу деревної біомаси у лісах Київської області, яка базується на принципах сталого лісоуправління.

Матеріали та методи дослідження. У цій науковій роботі використано такі загальнонаукові методи дослідження, як системний аналіз, синтез, узагальнення та класифікація. Як базові під час дослідження були використані методичні підходи до збору та обробки дослідних даних, розроблені під керівництвом П. І. Лакиди, а також запропоновані Р. Д. Васишиним теоретико-методологічні засади оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси у лісових фітоценозах [1; 2; 4; 5]. Згадані методичні засади та підходи пройшли успішну апробацію у рамках низки міжнародних наукових проектів і бюджетних науково-дослідних робіт.

Для оцінювання загальних обсягів енергії, акумульованої у біомасі деревостанів досліджуваного регіону, використано дослідні дані, що відображають структурні співвідношення між окремими компонентами біомаси у насадженні та кількісні показники їхньої базисної щільності. Зокрема у межах дослідження використано інформацію із 84 тимчасових пробних площ (закладених у соснових (48), дубових (8), грабових (10), ясеневих (3), березових (11) та вільхових (4) деревостанах досліджуваного регіону) та 311 модельних дерев [4; 5].

У процесі оцінювання кількісних показників енергетичного потенціалу інформаційним інструментарієм слугувала реляційна база даних «Повидільна таксаційна характеристика лісу» (понад 200 тис. виділів) та звітні виробничі матеріали щодо обсягів і структури заготівлі деревини у межах підприємств Київського обласного та по м. Києву управління лісового та мисливського господарства.

Методичні особливості оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси у лісах Київської області передбачають розрахунок показників п'яти його типів: теоретично-можливого, технічно-доступного, екологічно-безпечного, економічно-доцільного та соціально-зумовленого [1].

Результати дослідження та їх обговорення. Під час дослідження енергетичної функції лісових фітоценозів, окрім оцінювання кількісних показників енергетичного потенціалу деревної біомаси, важливе місце належить оцінюванню загального вмісту енергії, акумульованої у біомасі рослин. Адже ключовими процесами, що забезпечують ефективне функціонування будь-якої екосистеми Землі, в тому числі лісових біогеоценозів, є процеси, пов'язані з надходженням, трансформацією та використанням енергії [1; 2; 7].

Проведена в межах цієї роботи оцінка загальних обсягів енергії, акумульованої у фітомасі лісів Київської області, засвідчила, що загальний вміст енергії у її компонентах становить 1962,3 ПДж ($1962,3 \cdot 10^{15}$ Дж) (табл. 1). За своїм еквівалентом це орієнтовно відповідає 66,5 млн т. у. п., у тому числі для хвойних деревостанів відповідно 1265,7 ПДж, або 43,0 млн т. у. п., твердолистяних – 494,0 ПДж, або 16,8 млн т. у. п., м'яколистяних – 201,0 ПДж, або 6,8 млн т. у. п. Енергетична частка інших деревних видів становить менше 0,1 %, або 1,7 ПДж.

1. Вміст енергії у фітомасі насаджень Київської області за панівними деревними видами та компонентами

Група порід, деревний вид	Вміст енергії за компонентами, ПДж						
	деревина та кора стовбурів	деревина та кора гілок	хвоя (листя)	корені	підріст, підлісок	ЖНП	разом
Хвойні	930,54	83,42	20,06	201,41	6,73	23,51	1265,67
У т. ч. сосна	927,93	83,04	19,86	200,54	6,72	23,49	1261,58
Твердолистяні	341,69	61,40	6,48	70,32	5,71	8,35	493,95
У т. ч. дуб	281,03	50,04	5,18	57,38	4,66	6,77	405,06
М'яколистяні	134,29	19,86	4,71	36,44	1,72	4,00	201,02
У т. ч. береза	66,66	12,21	3,11	18,26	0,82	1,97	103,03
Інші деревні породи	1,03	0,20	0,05	0,29	0,04	0,07	1,67
Усього	1407,55	164,88	31,30	308,46	14,20	35,93	1962,31

Аналізуючи компонентну структуру енергоємності, варто зазначити, що понад 70 % енергії акумульовано у деревині та корі стовбурів дерев. Частка компонентів крони у загальній енергетичній структурі становить 10 %, а на підземну фітомасу припадає майже 16 %. Загалом, близько 65 % енергії зосереджено у фітомасі хвойних (у тому числі 64,3 % – соснові деревостани), 25,2 % – твердолистяних (у тому числі 20,6 % – дубові деревостани) і 10,2 % – у фітомасі м'яколистяних деревних видів, з яких 5,3 % – енергія у фітомасі березняків.

Інтенсивність продукування енергії компонентами фітомаси насаджень досліджуваного регіону відображає їхню енергопродуктивність. Її кількісні значення подано у табл. 2.

З наведених у табл. 2 даних можна зробити висновок, що хвойні насадження досліджуваного регіону щорічно продукують понад 60 ПДж енергії. У загальній структурі це становить 56,3 %. Деревостани твердолистяних деревних видів забезпечують понад 32 % річного приросту енергії у регіоні дослідження.

2. Енергопродуктивність насаджень Київської області за панівними деревними видами та компонентами

Група порід, деревний вид	Енергопродуктивність за компонентами, ПДж·рік ⁻¹						
	деревина та кора стовбурів	деревина та кора гілок	хвоя (листя)	корені	підріст, підрісок	ЖНП	разом
Хвойні	19,23	3,55	11,95	17,10	1,54	10,02	63,41
У т. ч. сосна	19,16	3,54	11,88	17,02	1,54	10,02	63,16
Твердолистяні	5,51	1,88	9,83	12,73	2,00	4,14	36,09
У т. ч. дуб	4,25	1,46	8,05	10,42	1,61	3,33	29,13
М'яколистяні	2,81	0,70	4,44	2,97	0,57	1,55	13,04
У т. ч. береза	1,84	0,44	2,28	1,83	0,26	0,77	7,41
Інші деревні породи	0,03	0,01	0,04	0,03	0,01	0,04	0,16
Усього	27,59	6,15	26,25	32,84	4,12	15,75	112,70

За якісною ознакою, найвища енергопродуктивність характерна саме для твердолистяних деревостанів і становить 235 ГДж·га⁻¹·рік⁻¹, тоді як хвойні насадження Київської області продукують лише 153 ГДж·га⁻¹·рік⁻¹ і за цим показником перебувають на одному рівні з м'яколистяними деревостанами.

Загальна оцінка вмісту енергії у компонентах фітомаси лісових фітоценозів дає можливість спрогнозувати енергетичний баланс згаданих природних екосистем, і лише частку із згаданого обсягу може бути

використано для суспільних потреб як відновлювальний енергетичний ресурс. У цьому контексті, використовуючи методичні підходи, які запропонував Р.Д. Васишин [1], у роботі здійснено розрахунок п'яти типів енергетичного потенціалу деревної біомаси: теоретично-можливого, технічно-доступного, екологічно-безпечного, економічно-доцільного та соціально-зумовленого.

Для зручності встановлення кількісних показників енергетичного потенціалу деревної біомаси, її запропоновано диференціювати на три основні складові: дров'яна стовбурова деревина, лісові деревні відходи та лісопромислові деревні відходи [1].

Загальні кількісні параметри зазначених типів потенціалу у одиницях первинної енергії наведено у табл. 3.

3. Щорічний енергетичний потенціал деревної біомаси у насадженнях Київщини, ПДж

Вид деревної біомаси	Тип потенціалу				
	теоретично-можливий	технічно-доступний	екологічно-безпечний	економічно-доцільний	соціально-зумовлений
Дров'яна стовбурова деревина	10,61	8,47	6,78	6,44	5,68
Лісові деревні відходи	6,00	4,79	2,55	1,68	1,65
Лісопромислові деревні відходи	1,77	1,06	1,06	1,06	1,06
Разом	18,38	14,33	10,39	9,18	8,39

Отже, кількісне значення щорічного енергетичного потенціалу деревної біомаси у лісах Київської області змінюється від 18,4 до 8,4 ПДж, залежно від типу потенціалу. Соціально-зумовлений енергетичний потенціал деревної біомаси характеризується такими абсолютними значеннями та їхніми еквівалентами: 1154,7 тис. м³; 469,3 тис. т (у абсолютно сухому стані); 8,39 ПДж; 286,1 тис. т умовного палива, або близько 265 млн м³ природного газу.

Аналізуючи структурні складові деревної біомаси, варто зазначити, що частка дров'яної стовбурової деревини у загальному обсязі соціально-зумовленого потенціалу становить майже 68 %. На інші складові припадає відповідно 19,6 % – лісові деревні відходи та 12,6 % – лісопромислові деревні відходи. При цьому понад 80 % потенціалу дров'яної стовбурової деревини й потенціалу лісопромислових деревних відходів щороку споживають для суспільних потреб. Реальний незадіяний потенціал становить близько 3 ПДж, або 420 тис. м³.

Висновки і перспективи. Розраховані у процесі дослідження показники енергетичного потенціалу деревної біомаси у лісах Київської області слугуватимуть інформаційною основою для прийняття ефективних управлінських рішень у межах лісгосподарського виробництва області, а також для розроблення стратегічних регіональних програм розвитку відновлювальної енергетики. Кількісні значення соціально-зумовленого потенціалу, який враховує принципи сталого лісоуправління, дають змогу забезпечити не тільки економічний ефект від заміщення ним близько 265 млн м³ природного газу, а й зменшити викиди вуглецю на рівні 235 тис. т.

Список використаних джерел

1. Васишин Р. Д. Продуктивність та еколого-енергетичний потенціал лісів Українських Карпат : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра с.-г. наук : спец. 06.03.02. «Лісовпорядкування і лісова таксація» / Р. Д. Васишин. – К., 2014. – 46 с.
2. Васишин Р. Д. Биологическая и энергетическая продуктивность хвойных насаждений в Украинском Полесье / Р. Д. Васишин, П. И. Лакида, Г. С. Домашовец, А. А. Слива, А. В. Шевчук, М. А. Лакида // Проблемы лесоведения и лесоводства : сборник научных трудов ИЛ НАН Беларуси. Вып. 76. – 2016. – С. 20–29.
3. Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: лісовий сектор : монографія / А. З. Швиденко, П. І. Лакида, Д. Г. Щепашенко та ін. – Корсунь-Шевченківський : ФОП Гавришенко В. М., 2014. – 283 с.
4. Листяні деревостани України: фітомаса та експериментальні дані : монографія / П. І. Лакида, Р. Д. Васишин, В. І. Блищик та ін. – Корсунь-Шевченківський : ФОП В. М. Гавришенко, 2017. – 483 с.
5. Хвойні деревостани України: фітомаса та експериментальні дані : монографія / П. І. Лакида, Р. Д. Васишин, В. І. Блищик та ін. – Корсунь-Шевченківський : ФОП В. М. Гавришенко, 2016. – 480 с.
6. Hakkila P. Factors driving the development of forest energy in Finland / P. Hakkila // Biomass and bioenergy. – 2006. – Vol. 30. – P. 281–288.
7. Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change / A. Shvidenko, I. Buksha, S. Krakovska, P. Lakyda // Sustainability. – 2017. – Vol. 9 (7). – P. 1152–1158.

References

1. Vasylyshyn, R. D. (2014). Produktivnist ta ekoloho-enerhetychnyi potentsial lisiv Ukrainskykh Karpat [Productivity, ecological and energy potential of forests in Ukrainian Carpathians] Extended abstract of Doctor's thesis. Kyiv, 46.
2. Vasylyshyn, R. D., Lakyda, P. I., Domashovets, G. S., Slyva, O. A., Shevchuk, O. V., Lakyda, M. O. (2016). Biologicheskaja i jenergeticheskaja produktivnost' hvojnyh nasazhdenij v Ukrainskom Poles'e [Biological and energy productivity of coniferous stands in Ukrainian Polissya]. Problems of silvics and silviculture: Collection of scientific papers of IF of NAS of Belarus, 76, 20–29.

3. Shvidenko, A. Z., Lakyda, P. I., Schepaschenko, D. G., et al. (2014). Vuhlets, klimat ta zemleupravlinnia v Ukraini: lisovyi sektor [Carbon, climate and land-use in Ukraine: forest sector]. Korsun-Shevchenkivsky, 283.
4. Lakyda, P. I., Vasylyshyn, R. D., Blyshchyk, V. I., et al. (2017). Lystyani derevostany Ukrayiny: fitomasa ta eksperymental'ni dani [*Broadleaved forest stands of Ukraine: live biomass and experimental data*]. Korsun-Shevchenkivsky, 483.
5. Lakyda, P. I., Vasylyshyn, R. D., Blyshchyk, V. I., et al. (2016). Khvoyni derevostany Ukrayiny: fitomasa ta eksperymental'ni dani [*Coniferous forest stands in Ukraine: live biomass and experimental data*]. Korsun-Shevchenkivsky, 480.
6. Hakkila, P. (2006). Factors driving the development of forest energy in Finland. Biomass and bioenergy, 30, 281–288.
7. Shvidenko, A., Buksha, I., Krakovska, S., & Lakyda, P. (2017). Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change. Sustainability, 9 (7), 1152–1158.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ В ЛЕСАХ КИЕВСКОЙ ОБЛАСТИ

А. В. Шевчук

Аннотация. Использование древесной биомассы лесов для энергетических целей является структурной составляющей организации системы устойчивого использования лесных ресурсов. В этом контексте, в рамках данной работы предложено количественную оценку ежегодного энергетического потенциала древесной биомассы в лесах Киевской области, которая учитывает концептуальные основы устойчивого управления лесным хозяйством.

В результате выполнения исследования установлены количественные показатели содержания энергии в фитомассе насаждений исследуемого региона, а также их энергопродуктивность. Всего в насаждениях области аккумулировано более 1960 ПДж энергии, а их энергопродуктивность составляет около 112 ПДж·год⁻¹. При этом самая высокая энергопродуктивность характерна для твердолиственных древостоев и составляет 235 ГДж·га⁻¹·год⁻¹.

Осуществлен расчет пяти типов энергетического потенциала древесной биомассы, которые учитывают аспекты экологической безопасности, экономического развития региона и социальные особенности жизни местных общин. Количественное значение ежегодного энергетического потенциала древесной биомассы в лесах Киевской области составляет от 18,4 до 8,4 ПДж, в зависимости от его типа.

Ключевые слова: Киевская область, энергетический потенциал, древесная биомасса, устойчивое лесопользование, энергия, лесные ресурсы.

ENERGY POTENTIAL OF WOOD BIOMASS IN FORESTS OF KYIV REGION

O. Shevchuk

Abstract. *Use of wood biomass of forests for energy purposes is a structural component of organization of a system of sustainable use of forest resources. In this context, within the framework of this research, a quantitative assessment of annual energy potential of wood biomass in forests of Kyiv region is proposed, which takes into account conceptual foundations of sustainable forest management.*

As a result of the research, we established quantitative indices of energy content in live biomass of forest stands of the studied region, as well as their energy productivity. In general, more than 1960 PJ of energy is accumulated in stands of the region, and their energy productivity is about 112 PJ·year⁻¹. At the same time, hardwood stands are characterized by the highest energy productivity – 235 PJ·ha⁻¹·year⁻¹.

We calculated five types of energy potential of wood biomass that take into account aspects of environmental safety, economic development of the region and social features of life of local communities. The quantitative value of the annual energy potential of wood biomass in forests of Kyiv region varies from 18.4 to 8.4 PJ, depending on its type.

Keywords: *Kyiv region, energy potential, wood biomass, sustainable forest management, energy, forest resources.*