

ЕНЕРГЕТИЧНА ФУНКЦІЯ БУКОВИХ ЛІСІВ БУКОВИНСЬКОГО ПЕРЕДКАРПАТТЯ

Енергетична функція лісових фітоценозів є важливою складовою комплексу екосистемних функцій лісів. У цьому контексті, у межах даної роботи запропоновано кількісну та якісну оцінку енергетичної функції букових лісів Буковинського Передкарпаття, як інформаційного інструментарію забезпечення ефективного ведення лісового господарства на засадах сталого розвитку. Базовим показником, що характеризує енергетичну функцію лісових фітоценозів є їхня енергоемність, тобто вміст енергії у компонентах фітомаси, оскільки ключовими процесами, що забезпечують ефективне функціонування будь-якої екосистеми Землі, в тому числі і лісових біогеоценозів є процеси, пов'язані з надходженням, трансформацією та використанням енергії. В результаті виконання дослідження встановлено кількісні показники енергоемності фітомасибукових насаджень досліджуваного регіону, а також їх енергопродуктивність. Загалом у букових насадженнях регіону досліджень акумульовано понад 230 ПДж енергії. На деревостани насінневого природного походження припадає близько 97 % від загального обсягу акумульованої енергії у фітомасі букових насаджень регіону. Енергопродуктивність досліджуваних деревостанів становить близько 15 ПДж·рік⁻¹. При цьому, найвищою енергопродуктивністю характеризуються середньовікові букові деревостани – 260 ГДж·га⁻¹·рік⁻¹. Енергопродуктивність стиглих та перестиглих букових деревостанів характеризується показником на рівні 200 ГДж·га⁻¹·рік⁻¹. У багатих (D₂, D₃) та відносно багатих (C₂, C₃) умовах кількісні значення енергопродуктивності становлять відповідно 260 та 220 ГДж·га⁻¹·рік⁻¹. Встановлено, що щорічно букові деревостани забезпечують формування енергетичного потенціалу деревної біомаси обсягом від 3,6 до 1,5 ПДж залежно від типу потенціалу.

Ключові слова: букові деревостани, екосистемні функції, енергія, енергопродуктивність, фітомаса, Чернівецька область.

Вступ. Для ефективної імплементації парадигми сталого ведення лісового господарства у Карпатському регіоні України, в основу управлінських рішень необхідно покласти знання про особливості природних процесів у лісових фітоценозах й вплив різних чинників на формування кількісних та якісних характеристик деревостанів головних лісотвірних деревних видів.

В умовах Буковинського Передкарпаття, де букові деревостани є ключовим природним об'єктом, котрий формує позитивну динаміку стану навколишнього природного середовища та виступає джерелом деревних ресурсів, оцінювання їх енергетичної функції слугує інформаційним інструментарієм забезпечення ефективного ведення лісового господарства[14, 15, 16]. Енергетична функція лісових

¹ Васишин Роман Дмитрович – академік Лісівничої академії наук України, професор кафедри таксації лісу та лісового менеджменту, доктор сільськогосподарських наук, професор. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна. Тел.: +38-095-345-27-22. E-mail: rvasylys@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7268-8911>

² Слюсарчук В.В. – аспірант кафедри таксації лісу та лісового менеджменту. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна.

³ Лакида Іван Петрович – доцент кафедри таксації лісу та лісового менеджменту, кандидат сільськогосподарських наук, Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Тел.: +38-067-771-68-18. E-mail: ivan.lakyda@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1565-8329>

фітоценозів є важливою складовою комплексу їх екосистемних функцій та має ключове значення для системи заходів щодо пом'якшення і запобігання глобальним кліматичним змінам, а також для забезпечення комплексного використання лісових ресурсів на засадах сталого лісоуправління [4, 5, 11].

Комплексний вплив енергетичної функції лісів, у тому числі і як джерела відновлювальної енергії, на зменшення викидів CO_2 є предметом дослідження учених з різних країн. Так, на думку китайських учених, довготривале збереження здорового ростучого лісу є більш ефективним з позиції зменшення викидів CO_2 порівняно з відновлювальною енергетикою в умовах Китаю та Індії [7], в той же час, дослідники з Пакистану відзначають необхідність збільшення обсягів використання деревної біомаси для зменшення викидів парникових газів [1]. У цьому напрямі також активно працюють наковці з Бразилії, які велику увагу приділяють питанням створення енергетичних плантацій [6, 12]. У Португалії активно розвивається напрям наукових досліджень пов'язаний з використанням деревної біомаси та деревних залишків як ефективний спосіб попередження лісових пожеж [8]. Згадані дослідження та багато інших наукових праць у напрямі лісової біоенергетики базуються на знаннях про якісні та кількісні параметри енергетичної функції лісових насаджень різних деревних видів у межах окремих локальних регіонів. В цьому контексті й здійснено оцінювання якісних та кількісних параметрів енергетичної функції букових лісів Буковинського Передкарпаття.

Мета та об'єкт дослідження. Мета дослідження полягає у здійсненні комплексного оцінювання енергетичної функції букових лісів Буковинського Передкарпаття як інформаційної складової у системі заходів направлених на впровадження сталого лісоуправління у гірських лісах. Об'єктом дослідження слугують біопродукційні процеси як основа для оцінювання енергоємності та енергопродуктивності букових насаджень Буковинського Передкарпаття.

Матеріали та методи дослідження. У процесі дослідження використано такі загальнонаукові методи дослідження як системний аналіз, синтез, узагальнення та класифікація. За базові, в ході дослідження, були використані методичні підходи до збирання та обробки дослідних даних, що розроблені під керівництвом П.І. Лакиди [3], а також запропоновані Р.Д. Василюшиним теоретико-методологічні засади оцінювання енергетичної функції лісових фітоценозах [14, 15]. Згадані методичні засади та підходи пройшли успішну апробацію у рамках низки міжнародних наукових проектів та бюджетних науково-дослідних робіт.

Для оцінювання кількісних та якісних показників енергетичної функції букових лісів досліджуваного регіону використано дослідні дані, що відображають біометричну характеристику 132 модельних дерев (МД) та 27 ділянок у букових деревостанах на основі закладених тимчасових пробних площ (ТПП).

Варто зазначити, що 20 ТПП з рубкою 82 МД були закладені упродовж 2015–2016 років [13]. Інформацію щодо інших ТПП отримано з бази даних кафедри таксації лісу та лісового менеджменту [2]. Оцінювання кількісних показників енергетичної функції базувалося на виробничій реляційній базі даних «Повидільна таксаційна характеристика лісу» (понад 8,5 тис. виділів у межах окресленого регіону), математичних залежностей, що відображають фітомасу окремих компонентів досліджуваних насаджень [15] та звітних виробничих матеріалах щодо обсягів енергетичної деревної біомаси заготовленої у межах підприємств Чернівецького управління лісового та мисливського господарства.

Результати дослідження та їх обговорення. Базовим показником, що характеризує енергетичну функцію лісових фітоценозів є їхня енергоємність, тобто вміст енергії у компонентах фітомаси, оскільки ключовими процесами, що забезпечують ефективне функціонування будь-якої екосистеми Землі, в тому числі і лісових біогеоценозів є процеси, пов'язані з надходженням, трансформацією та використанням енергії. Для здійснення оцінювання питомої та загальної енергоємності надземної фітомаси дерев та деревостанів бука лісового в умовах Буковинського Передкарпаття, використано показники базисної щільності компонентів фітомаси [9] та кількісні параметри енергоємності однієї тонни вуглецю, депонованого у фітомасі дерев [10]. Кількісні значення питомої енергоємності, вмісту енергії у 1 м³ компонентів фітомаси в абсолютно сухому стані у табл. 1.

Таблиця 1. Питома енергоємність компонентів фітомаси дерев бука лісового у деревостанах Буковинського Передкарпаття

Компонент фітомаси	Вміст енергії в абсолютно сухій речовині компонентів фітомаси, ГДж·(м ³) ⁻¹		
	деревина	кора	деревина + кора
Стовбур	10,677	8,916	10,590
Гілки крони	10,874	10,121	10,738

Згідно наведених у табл. 1 даних робимо висновок, що найвищий показник питомої енергоємності характерний для деревини гілок крони дерев бука лісового та становить майже 11 ГДж·(м³)⁻¹. Враховуючи, що при спалюванні 1 м³ природного газу виділяється енергія у кількості 31,736 МДж, один кубічний метр деревини гілок крони, в абсолютно сухому стані, за цим показником еквівалентний 343 м³ природного газу. Оцінивши параметри загальної енергоємності компонентів фітомаси букових лісів Буковинського Передкарпаття у межах Чернівецької області, встановлено, що загальний вміст енергії у вказаних компонентах становить близько 320 ПДж (320·10¹⁵ Дж) (табл. 2). За своїм еквівалентом це орієнтовно відповідає 10,8 млн т умовного палива.

Таблиця 2. Загальна енергоємність фітомаси букових насаджень різного віку та походження в умовах Буковинського Передкарпаття, ПДж

Група віку	Походження			Разом
	вегетативне	насі́нневе природне	насі́нневе штучне	
Молодняки	0,01	6,84	1,89	8,74
Середньовікові	0,57	151,62	5,85	158,04
Пристиглі	0,11	96,58	0,08	96,77
Стиглі	0,08	55,12	0,01	55,20
Перестиглі	—	3,56	—	3,56
Усього	0,76	313,72	7,82	322,31

У структурі загальної енергоємності домінують середньовікові букові деревостани насінневого природного пошкодження, частка яких становить 47 %. Загалом на деревостани насінневого природного пошкодження припадає близько 97 % від загального обсягу акумульованої енергії у фітомасі букових насаджень досліджуваного регіону. Варто також відмітити, що майже 80 % енергії акумульовано у середньовікових та пристиглих букових деревостанах.

Високопродуктивні букові деревостани, що характеризуються I та вищими класами бонітету домінують у структурі загальної енергопродуктивності з показником 87 %, або 281,16 ПДж (табл. 3).

Таблиця 3. Загальна енергоємність фітомаси букових насаджень Буковинського Передкарпаття у межах класів бонітету та відносних повнот, ПДж

Відносна повнота	Клас бонітету					Разом
	I ^a і більше	I	II	III	IV і менше	
0,4 і менше	0,84	4,43	3,01	0,09	0,01	8,38
0,5	2,74	9,31	6,19	0,20	0,04	18,47
0,6	7,64	29,54	13,90	0,36	0,06	51,49
0,7	31,59	68,43	11,07	0,66	0,08	111,83
0,8	37,25	41,04	3,71	0,18	0,02	82,20
0,9	22,10	25,11	1,24	0,20	–	48,64
1,0 і більше	0,43	0,73	0,10	0,03	–	1,30
Усього	102,57	178,59	39,21	1,72	0,21	322,31

У фітомасі середньоповнотних деревостанів акумульовано понад 163 ПДж енергії, що складає понад 50 % у загальній структурі енергоємності. Загалом у букових насадженнях Буковинського Передкарпаття щороку продукується понад 15 ПДж енергії у вигляді органічної речовини. Найвищі показники енергопродуктивності характерні для середньовікових букових деревостанів, які становлять 7,98 ПДж·рік⁻¹, або 260 ГДж·га⁻¹·рік⁻¹. Енергопродуктивність стиглих та перестиглих букових деревостанів характеризується показником на рівні 200 ГДж·га⁻¹·рік⁻¹. Цілком закономірно, найвищі показники притаманні деревостанам I^a і вище та I класу бонітету, відповідно 4,9 та 8,4 ПДж·рік⁻¹ (табл. 5), або 330 та 225 ГДж·га⁻¹·рік⁻¹.

Інтенсивність продукування енергії буковими насадженнями досліджуваного регіону відображає їх енергопродуктивність. Її кількісні значення у табл. 4.

Таблиця 4. Енергопродуктивність букових насаджень різного віку та походження в умовах Буковинського Передкарпаття, ПДж·рік⁻¹

Група віку	Походження			Разом
	вегетативне	насіннєве природне	насіннєве штучне	
Молодняки	0,001	1,023	0,221	1,246
Середньовікові	0,029	7,652	0,295	7,976
Пристиглі	0,004	3,832	0,003	3,840
Стигли	0,003	1,988	0,000	1,991
Перестиглі	–	0,133	–	0,133
Усього	0,037	14,629	0,520	15,185

Таблиця 5. Енергопродуктивність букових насаджень Буковинського Передкарпаття у межах класів бонітету та відносних повнот, ПДж·рік⁻¹

Відносна повнота	Клас бонітету					Разом
	I ^a і більше	I	II	III	IV і менше	
0,4 і менше	0,031	0,173	0,116	0,004	0,000	0,324
0,5	0,110	0,388	0,241	0,007	0,002	0,749
0,6	0,343	1,264	0,576	0,015	0,003	2,201
0,7	1,493	3,148	0,518	0,038	0,004	5,201
0,8	1,799	2,012	0,211	0,013	0,001	4,036
0,9	1,096	1,335	0,081	0,015	–	2,525
1,0 і більше	0,032	0,096	0,017	0,003	–	0,149
Усього	4,904	8,416	1,760	0,096	0,010	15,185

Варто зазначити, що енергопродуктивність букових насаджень, які зростають у багатих (D_2 , D_3) та відносно багатих (C_2 , C_3) умовах, становить відповідно 260 та 220 ГДж·га⁻¹·рік⁻¹. Загальна оцінка вмісту енергії у компонентах фітомаси

лісових фітоценозів дає можливість спрогнозувати баланс згаданих природних екосистем і лише частка із цього обсягу може бути використана для суспільних потреб, як відновлювальний ресурс. У цьому контексті, використовуючи існуючі методичні підходи [14, 15], здійснено розрахунок потенціалу деревної біомаси з різними рівнями агрегації можливостей його використання (табл. 6).

Таблиця 6. Щорічний енергетичний потенціал деревної біомаси у букових лісах Буковинського Передкарпаття у межах Чернівецької області, ПДж

Вид деревної біомаси	Тип потенціалу				
	теоретично-можливий	технічно-доступний	екологічно-безпечний	економічно-доцільний	соціально-зумовлений
Дров'яна стовбурова	2,09	1,67	1,34	1,27	0,99
Лісові відходи	1,18	0,94	0,51	0,38	0,37
Лісопромислові відходи	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10
Разом	3,57	2,72	1,95	1,76	1,46

Таким чином, кількісне значення щорічного енергетичного потенціалу деревної біомаси у букових лісах Чернівецької області змінюється від 3,6 до 1,5 ПДж залежно від типу потенціалу.

При цьому, понад 75 % потенціалу дров'яної стовбурової деревини й потенціалу лісопромислових деревних відходів щороку споживається для суспільних енергетичних потреб. Реальний незадіяний потенціал становить близько 0,5 ПДж.

Висновки. Здійснена кількісна оцінка енергетичної функції букових лісів Буковинського Передкарпаття слугуватиме інформаційною основою для прийняття ефективних управлінських рішень у сфері лісогосподарського виробництва регіону, а також сприятиме розробленню стратегічних регіональних програм розвитку лісової біоенергетики. Загалом у букових лісах регіону акумульовано близько 320 ПДж енергії, щорічний приріст якої становить понад 15 ПДж, або 230 ГДж·га⁻¹·рік⁻¹. У балансі відновлювальних джерел енергії Чернівецької обл. незадіяний потенціал букових лісів у вигляді деревної біомаси є близьким до 0,5 ПДж.

Література

1. Khan, M. T. I., Ali, Q., & Ashfaq, M. (2018): Then exus between green house gas emission, electricity production, renewable energy and agriculture in Pakistan. *Renewable Energy* 118: 437-451. doi:10.1016/j.renene.2017.11.043.
2. Lakyda, P.I., Vasylyshyn, R.D., Blyshchuk, V.I. et al. (2017): *Lystyani derevostany Ukrayiny: fitomasa ta eksperymentalni dani* [Broad leaved forest stands of Ukraine: live biomass and experimental data]. Monograph. – Korsun-Shevchen.: FOP V.M. Havryshenko, 483 p. (in Ukrainian).
3. Lakyda, P.I. (2002): *Fitomasa lisiv Ukrayiny* [Live biomass of Ukraine's forests]. Monograph. – Trenopil: Zbruch. 256 p. (in Ukrainian).
4. Lakyda, P., Bilous, A., Shvidenko, A., Myroniuk, V., Matsala, M., Vasylyshyn, R., Holiaka, D., Lakyda, I. (2018): Ecosystem services of Ukrainian forests: a case study for the Polissya region. – Kyiv: NULES of Ukraine. 188 p.
5. Lakyda, P., Vasylyshyn, R., Zibtsev, S., Lakyda, I., Böttcher, H (2013). Potentials of forest biomass for energetic use in Ukraine. *Earth Bioresources and Life Quality*. – Vol. 3. – Webaccess: <http://gchera-ejournal.nubip.edu.ua/index.php/bql/article/view/105/64>.
6. Machado, F.D., Eufrade, H.D., Spada, G., Oguri, G., Garcia, E.A., & Guerra, S.P.S. (2019): Biomass yield of Eucalyptus grandis Hillex. Maiden under different single and double rowplanting arrangements. *Ciencia Florestal* 29(4): 1568-1578. doi:10.5902/1980509835166.
7. Peng, Y.F., Chen, W.D., & Wei, P.B. (2019): Examining the comprehensive effects of renewable energy, forest, and agriculture on CO2 emissions: evidences from China and India. *Fresenius Environmental Bulletin* 28(11A): 8708–8720.

8. **Poggi, F., Firmino, A., & Amado, M.** (2018): Municipal clusters of bioenergy: a contribution to forest fire prevention. *Finisterra-Revista Portuguesa De Geografia* 53(108): 39-52. doi:10.18055/Finis13717.
9. **Shevchuk, O.V.** (2017): *Enerhetychnyy potentsial derevnoyi biomasy u lisakh Kyivskoyi oblasti* [Energy potential of woody biomass forests of Kyiv region]. *Bulletin of NULES of Ukraine* 278: 76–83. (in Ukrainian).
10. **Shvidenko, A., Nilsson, S., & Obersteiner, M.** (2004): Wood for bioenergy in Russia: Potential and Reality. In G. H. Kohlmaier (Eds.). *Wood Energy in the Industrialized World*. – Graz, Austria: *International BIOCLIMECO Workshop*: 323–340.
11. **Shvidenko, A., Buksha, I., Krakovska, S., & Lakyda, P.** (2017): Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change. *Sustainability*, 9(7), 1152–1158. doi.org/10.3390/su9071152.
12. **Silva, W.G., dosSantos, D., Lima, A.P.L., Mattos, F.D., Lima, S.F., & de Paula, R.D.M.** (2019). Growth and volumetric production of eucalyptus clones in different planting spaces. *Revista De Agricultura Neotropical* 6(3): 38–47.
13. **Slusarchuk, V.V.** (2018): *Sередня шхилніст компонентів фітомаси стовбурів дерев buka лісового у насадженнях Буковинського Передкарпаття* [A veragedensity of phytomass components of european beech trees temsinstands of Bukovynian Subcarpathians]. *Forestry and landscape garden- ing*. – Vol. 14. (in Ukrainian).
14. **Vasylyshyn, R.D.** (2014): *Produktyvnist ta ekoloho-enerhetychnyy potentsial lisiv Ukrayinskykh Karpat* [Productivity, ecological and energy potential of forests in the Ukrainian Carpa- thians]. Abstract of doctoral dissertation for Agricultural Science (06.03.02 – Forest Inventory and Forest Measurement). – Kyiv, 46 p. (in Ukrainian).
15. **Vasylyshyn, R.D.** (2018): *Ekoloho-enerhetychnyy potentsial lisiv Ukrayinskykh Karpat ta yoho stale vykorystannya* [Environmental and energy potential of forests in Ukrainian Carpathians and its sustainable use]: monograph. – Kyiv: *Komprint*. – 305 p.(in Ukrainian).
16. **Vasylyshyn, R.D., Slusarchuk, V.V. & Vasylyshyn, O.M.** (2015): *Bioenerhetychna rol lisiv Bukovynskoho Peredkarpattya* [Bioenergy role of forests in Bukovyna Precarpathian region]. Scien- tific basis forincreasing productivity and biological stability of forest and urbanized ecosystems: 65-th scientific and technical conference (Lviv, 24 Nov. 2015). – Lviv, 25-26. (in Ukrainian).

UDC 630*[64+5+(23)](477.85) **Prof. R.D. Vasylyshyn; competitor V.V. Slyusarchuk; assoc. prof. I.P. Lakyda – National University of Life and Environmental Sciences**

Energy function of beech forests in Bukovyna Precarpathian region

Energy function of forest ecosystems is an important component of the system of their ecosystem functions. In this context, quantitative and qualitative assessment of the energy function of beech forests in Bukovyna Precarpathian region as an information tool for ensuring efficient forest management on the basis of the sustainable development paradigm is proposed within the framework of this research. The main indicator characterizing the energy function of forests is their energy content, i.e. the energy content of live biomass components, because the key processes that ensure the effective functioning of any ecosystem on Earth, including forest ecosystems, are the processes related to energy input, transformation and use. As a result of the research, quantitative indicators of energy content in live biomass of beech stands within the study region as well as their energy productivity were assessed. In total, over 230 PJ of energy have been accumulated in beech stands of the study region. Tree stands of seed natural origin account for about 97 % of the total amount of energy accumulated in live biomass of beech stands in the study region. The energy productivity of the stands under research is about 15 PJ·year⁻¹. At the same time, mid-aged stands feature the highest energy productivity – 260 GJ·ha⁻¹·year⁻¹. The energy productivity of mature and over mature beech stands is at the level of 200 GJ·ha⁻¹·year⁻¹. In rich (D₂, D₃) and relatively rich (C₂, C₃) conditions, quantitative values of energy productivity are respectively 260 and 220 GJ·ha⁻¹·year⁻¹. It has been found that annually beech stands form the energy potential of wood biomass ranging from 3.6 to 1.5 PJ depending on the type of potential.

Keywords: beech stands, ecosystem functions, energy, energy productivity, live biomass, Chernivtsi region.