

## 4. ЛІСОВА ТАКСАЦІЯ ТА ЛІСОВПОРЯДКУВАННЯ



Наукові праці Лісівничої академії наук України  
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>  
<https://doi.org/10.15421/412131>  
Article received 2021.09.11  
Article accepted 2021.12.29

ISSN 1991-606X print  
ISSN 2616-5015 online  
@ ✉ Correspondence author  
Heorhiy H. Hrynyk  
[h.hrynyk@nltu.edu.ua](mailto:h.hrynyk@nltu.edu.ua)

103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630\*[524.39:176.322.2](292.452)

### Стовбурава біопродуктивність букових деревостанів Полонинського хребта Українських Карпат

Г. Г. Гриник<sup>1</sup>, А. І. Задорожний<sup>2</sup>, О. М. Гриник<sup>3</sup>

Розроблені на основі середніх значень діаметра, висоти та відносної повноти букових деревостанів моделі адекватно описують залежність компонентів надземної фітомаси дерев бука лісового в типах лісорослинних умов  $C_3$  та  $D_3$ . Показники загальної біопродуктивності у досліджуваних типах лісорослинних умов мають близькі значення, але істотно відрізняються структурою компонентів надземної фітомаси стовбурів деревостану. Встановлено, що модальні букові деревостани у властивих їм типах лісу в ТЛЮ  $D_3$  незначно переважають аналогічні в ТЛЮ  $C_3$  за такими таксаційними показниками деревостанів, як середня висота, середній діаметр, сума площ поперечного перетину, загальний запас деревини. Також виявлено, що в ТЛЮ  $D_3$  вищі значення притаманні фітомасі стовбура та фітомасі стовбура у корі. Сумарні значення фітомаси гілок у корі у ТЛЮ  $D_3$  є вищими, порівняно із ТЛЮ  $C_3$ , є у віці 1-20 років, а від 21 до 100 років вищі значення виявлено у ТЛЮ  $C_3$ . З'ясовано, що загальна біопродуктивність до 70 років є вищою у ТЛЮ  $D_3$ . Загальна надземна стовбурава фітомаса деревостанів букових деревостанів на досліджуваній території становить 24592775 т, зокрема найбільшу частку становлять середньовікові деревостани – 51,2%. Зважаючи на нерівномірний розподіл площ деревостанів за групами віку, зі зростанням віку деревостану збільшується їхня відносна частка у загальній біопродуктивності. Найбільшу частку у загальній біопродуктивності надземної частини дерева становить фітомаса стовбура (74,1%), гілок (17,5%), кори стовбура (3,9%), листя (3,4%) та кора гілок (1,1%). У розрізі вікових груп фітомаса стовбура зі збільшенням віку деревостану зростає. Так само збільшується значення частки стовбура у корі – від 73,5 до 78,9%. Частка гілок у корі з віком, навпаки, зменшується – від 22,4 до 17,9%.

**Ключові слова:** надземна фітомаса; стовбур дерева; тип лісорослинних умов; *Fagus sylvatica* L.; компоненти фітомаси; таксаційні показники.

<sup>1</sup> Гриник Георгій Георгійович – академік Лісівничої академії наук України, професор кафедри лісової таксації та лісовпорядкування, доктор сільськогосподарських наук. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103. м. Львів, 79057, Україна. E-mail: [h.hrynyk@nltu.edu.ua](mailto:h.hrynyk@nltu.edu.ua) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7417-5047>. ResearcherID: Q-8126-2017

<sup>2</sup> Задорожний Андрій Іванович – старший викладач кафедра лісівництва, кандидат сільськогосподарських наук. Ужгородський національний університет, вул. Університетська, 14, м. Ужгород Закарпатської обл., 88000, Україна. E-mail: [andriy.zadorozhnyy@uzhnu.edu.ua](mailto:andriy.zadorozhnyy@uzhnu.edu.ua) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0664-5462>

<sup>3</sup> Гриник Олена Миколаївна – доцент кафедри ботаніки, деревинознавства та недревних ресурсів лісу, кандидат сільськогосподарських наук. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103. м. Львів, 79057, Україна. E-mail: [o.hrynyk@nltu.edu.ua](mailto:o.hrynyk@nltu.edu.ua) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2710-6118>. ResearcherID: Q-8111-2017

**Вступ (Introduction).** Одним із найважливіших інформативних показників, які використовують для вирішування багатьох лісівничих, ресурсознавчих та екологічних питань, є якісні характеристики надземної фітомаси дерев. Тому фітомаса бука лісового, як одного із головних типотвірних деревних видів України загалом та Українських Карпат зокрема, є надзвичайно цікавим об'єктом, який впродовж тривалого часу досліджують науковці (Лакида, 2002; Лакида, Василюшин, Лещенко, Терентьєв, 2011). Особливості фітомаси, як одного з основних складників біологічної продуктивності, досліджують переважно за двома напрямками – біогеоценологічним (екологічним) та ресурсознавчим. Для розвитку обох напрямків потрібно розробити нормативи оцінки біологічної продуктивності дерев і деревостанів за основними компонентами фітомаси. Для цього використовують традиційні методи вимірювальної та перелікової таксації, доповнені специфічними підходами, зокрема додатковим використанням вагового, стереометричного та комплексного методів оцінювання компонентів надземної фітомаси дерев (Полубуяринов, 1976; Уткин, 1975; Уткин, 1982).

Біологічну продуктивність лісів розглядають як їх основну характеристику, що визначає хід процесів у лісових екосистемах та використовують для здійснення екологічного моніторингу, сталого ведення лісового господарства, моделювання продуктивності лісів з урахуванням глобальних змін, вивчення структури та біорізноманіття лісового покриву, оцінювання вуглецедепонувальної місткості лісів.

Гірські ліси відіграють надзвичайно важливу роль і виконують низку функцій: окрім суто господарських, ще й стокорегулятивну, кліматотвірну, вуглецедепонувальну та багато інших (Лакида, 2002; Швыденко, 1981; Уткин, Вомперський, 1988; Watt et al., 2006). Зважаючи на актуальні дослідження в царині вивчення впливу визначених лісівничо-таксаційних показників, ведення господарської діяльності на типологічних засадах у деревостанах на якість деревини, її морфологічну будову та фізико-механічні властивості, зокрема і на щільність, можна дійти висновку, що значення загальної надземної фітомаси деревостанів та її компонентів також істотно залежить від цих показників (Barríos, Trincado, & Watt, 2017; Carson, Cown, McKinley, & Moore, 2014; Harmon et al., 1986; Maclaren, Grace, Kimberley, Knowles & West, 1995; Sutton, & Hargis, 1973). Разом з тим, упродовж тривалого періоду часу значну увагу науковці приділяли і моделюванню залежності біомаси від окремих лісівничо-таксаційних показників (Gillespie, 1989; Лакида, 2002; Лакида, Василюшин, Лещенко Терентьєв, 2011; Уткин, Вомперський, 1988; Watt et al., 2006). Для більшої інформативності та прогнозування динаміки залежності надземної фітомаси в нашому дослідженні пропонуємо розглянути результати дослідження особливостей надземної фітомаси деревостанів *Fagus sylvatica* L., формалізованих у ви-

гляді регресійних моделей. В основу дослідів покладено результати комплексних досліджень щільності компонентів надземної фітомаси дерев бука лісового (Гриник, Задорожний, 2017; Гриник, Задорожний, 2018; Задорожний, 2015.). Тип лісорослинних умов є одним із чинників, що суттєво впливає на щільність деревини у деревних порід (Zobel, & Talbert, 1984). Однак на одній ділянці щільність змінюється як між окремими деревами, так і всередині самого дерева (Louzada, 2000).

*Мета роботи* полягає у встановленні стовбурової біопродуктивності букових деревостанів Полонинського хребта Українських Карпат. Для досягнення поставленої мети досліджено особливості структури стовбурової біопродуктивності деревостанів Полонинського хребта Українських Карпат на основі розроблених моделей та їхніх поведільних характеристик у низці типів лісорослинних умов. Для вказаного регіону такі дослідження здійснено вперше.

*Об'єкт дослідження* – особливості формування структури надземної стовбурової фітомаси букових деревостанів. *Предмет дослідження* – структура фітомаси букових деревостанів у найпоширеніших типах лісорослинних умов Полонинського хребта Українських Карпат.

**Методика та матеріали дослідження (Methods and materials of research).** Збір дослідних даних для дослідження надземної частини фітомаси дерев *Fagus sylvatica* на території Полонинського хребта Українських Карпат, здійснено на тимчасових пробних площах (ТПП), які закладено відповідно до загальноприйнятої лісотаксаційної методики «Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання: СОУ 02.02-37-476:2006» (СОУ 02.02-37-476:2006). Для оцінювання показників щільності деревини та кори стовбурів дерев на модельних деревах (МД) різних ступенів товщини випилювали зрізи деревини у корі завтовшки 2-3 см – на висоті пня, на висоті 1,3 м, а також на відносних висотах стовбура: 0,00, 0,25, 0,50 та 0,75. Відповідно, для визначення щільності деревини і кори гілок випилювали дослідні зрізи з середини живих гілок різної довжини, які вибирали з нижньої, середньої та верхньої частин крони. Для встановлення частки листя у деревній зелені та вмісту абсолютно сухої речовини вибирали зразки – не менше трьох гілок з листям з кожної частини крони.

На етапі лабораторного дослідження використовували зрізи стовбурів і гілок крони для визначення показників природної та базисної щільності, а також щільності в абсолютно сухому стані відповідних фракцій деревини і кори. Для цього, за методикою П.І. Лакиди (2002) визначили об'єми всіх дослідних зразків, які були заготовані у польових умовах. Після виконання всіх вимірів зразки зважували для визначення їхньої маси у свіжозрубаному стані. Після цього здійснювали їх висушування у сушильній шафі за температури +105°C до абсолютно сухого стану, після чого їх повторно зважували.

Для дослідження компонентів надземної фітомаси дерев і деревостанів бука лісового, що ростуть на території Полонинського хребта Українських Карпат, використано експериментальні дані, зібрані під час виконання польових робіт упродовж 2006-2017 рр. за описаною вище методикою.

Вік досліджуваних букових деревостанів на пробних площах становить від 12 до 137 років, клас бонітету – I-II; відносна повнота – від 0,62 до 0,79. Модельні дерева (МД) вибирали за принципом репрезентативності до розподілу за ступенями товщини з урахуванням значень висоти. Для встановлення щільності в абсолютно сухому стані компонентів фітомаси стовбура відібрано і досліджено 516 зразків деревини стовбурів із 129 модельних дерев бука лісового.

**Результати (Results).** Зважаючи на те, що ареал *Fagus sylvatica*, як деревного виду середземноморського клімату, доволі часто захоплює гірські території, наближені до морського узбережжя, зокрема і в Хорватії, дослідженнями фізико-механічних властивостей деревини бука у цій країні займалися впродовж тривалого часу (Horvat, 1959, 1966, 1969; Štajduhar, 1973; Petrić, & Šćukanec, 1980; Klerac, 1986), а підсумки їхніх комплексних досліджень з власними доопрацюваннями надали S. Govorčin, T. Sinković, & J. Trajković (2003). Дослідження, проведені в Хорватії, показали істотну відмінність показника щільності деревини бука в абсолютно сухому стані – від 702-703 до 651-669 кг·м<sup>-3</sup> залежно від висоти над рівнем моря (390-1157 м) (Govorčin, Sinković, & Trajković, 2003). За результатами дослідження дерев місцевих головних лісотвірних порід для Півдня Німеччини встановлено мінімальні, максимальні та середні значення як таксаційних ознак окремих дерев, так і значення базисної щільності. Для бука лісового значення базисної щільності змінюються в межах 126-913 кг·м<sup>-3</sup> із середнім значенням 716 кг·м<sup>-3</sup> (Pretzsch, Biber, Schütze, Kemmerer, & Uhl, 2018). Загалом для дослідження використано 63 дерева бука на восьми пробних площах. Отже, можна стверджувати, що на щільність деяких елементів надземної фітомаси дерев бука лісового впливають географічне розташування деревостанів, а також типи лісорослинних умов, в яких ці деревостани ростуть.

Під час порівняння середніх значень досліджуваних таксаційних показників і значень показників надземної частини стовбурів дерев в абсолютно сухому стані для різних типів лісорослинних умов за основну гіпотезу висунемо припущення, що різниця між ними виникла випадково. За критерій перевірки цієї гіпотези слугуватиме змінна величина

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_d} = \frac{d}{s_d} \quad (1)$$

Для перевірки різниці між середніми значеннями окремих вибірок, утворених за результатами кластерного аналізу, на  $p$ -рівні використано  $t$ -критерій Стьюдента. Для цього, порівнюючи середньоарифметичні  $\bar{x}_1$  та  $\bar{x}_2$  кореляційно не

пов'язаних одна з одною (незалежні) вибірок, взятих із різних сукупностей, вважаємо, що різниця між ними:  $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = d$  виникла випадково (Лакін, 1980). За нерівновеликих вибірок, коли  $n_1 \neq n_2$  ( $n$  – кількість дослідів або варіант) помилку різниці між вибірковими середніми ( $s_d$ ) визначають за такою формулою:

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x}_1)^2 + \sum (x_i - \bar{x}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left( \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} \right)},$$

приймавши, що  $s_1^2 = \sum (x_i - \bar{x}_1)^2$  та  $s_2^2 = \sum (x_i - \bar{x}_2)^2$ , отримаємо:

$$s_d = \sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \cdot \left( \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} \right)}. \quad (2)$$

Нульова гіпотеза спростовується, якщо  $t_{\phi} \geq t_{st}$ . У нашому випадку під час аналізу для більшості даних  $t_{\phi} \geq t_{st}$ , що свідчить про наявність різниці між середніми значеннями морфологічних і таксаційних ознак дерев у вибірках у типах лісорослинних умов (ТЛУ)  $C_3$  та  $D_3$  (табл. 1) (Лакін, 1980).

За результатами кореляційного аналізу встановлено, що найтісніше компоненти фітомаси стовбура корелюють з діаметром (0,95-0,97) та висотою (0,72-0,77) стовбура, а компоненти фітомаси крони – з висотою (0,75-0,79) та діаметром (0,96-0,97) стовбура, а також з діаметром (0,72-0,75) та об'ємом (0,81-0,87) крони. Беручи до уваги значення коефіцієнтів детермінації, для опису динаміки надземної фітомаси дерев бука лісового у модальних гірських корінних деревостанах використано значення діаметра та висоти стовбура дерева. Значення показників фітомаси розраховано на основі щільності відповідних її фракцій в абсолютно сухому стані.

Для моделювання таксаційних показників використано рівняння математичних моделей росту букових деревостанів відповідних експозиційно-орографічних груп (Гриник, 2014, 2015). Моделювання реалізовано з аналітичного опису динаміки середньої висоти ( $H$ ), яку описано таким рівнянням:

$$H = H_B \cdot \left( \frac{A_i^{a_0 - a_1 \cdot \ln(A_i)}}{A_B^{a_0 - a_1 \cdot \ln(A_B)}} \right)^{a_2}, \quad (3)$$

де:  $H_B$  – базисна висота деревостану у віці 100 років, м;  $A_i$  – вік деревостану, років;  $A_B$  – базисний вік деревостану, 100 років.

Для моделювання відносної повноти ( $P$ ) використано таку модель:

$$P = a_0 \cdot A_i^{a_1} + a_2 \cdot H^{a_3} + a_4 \cdot H_B^{a_5}. \quad (4)$$

На основі значень середньої висоти деревостанів та оптимальної величини показника середнього збігу розраховано динаміку середнього діаметра ( $D$ ) за моделлю:

$$D = (a_0 + a_1 \cdot H_B) \cdot P^{a_2} \cdot H^{a_3 + a_4 \cdot H_B}. \quad (5)$$

**Розрахунок значущості різниці порівняння середніх значень дослідних даних модельних дерев бука лісового у типах лісорослинних умов  $C_3$  та  $D_3$**

*Table 1. Calculation of the difference significance in comparison of average values of the experimental data of model European beech trees in forest site types  $C_3$  and  $D_3$*

Показник	Вік, років	Стовбур					Крона				
		діаметр, см	висота, м	об'єм, м <sup>3</sup>	маса деревини, кг	маса кори, кг	діаметр, м	довжина, м	маса гілок, кг	маса кори гілок, кг	маса листя, кг
Тип лісорослинних умов – $C_3$											
Середнє значення	49,9	20,4	17,6	0,4	274,9	15,6	5,8	9,6	72,0	4,7	13,5
Дисперсія	23,5	8,8	7,4	0,5	301,0	13,9	1,9	3,7	71,1	3,7	12,9
Варіація	47,0	43,0	42,2	116,1	109,5	89,4	33,4	38,4	98,7	77,6	95,7
Мінімальне	9,0	5,0	2,0	0,0	5,1	0,4	1,2	1,1	0,6	0,1	0,3
Максимальне	97,0	48,2	34,1	2,8	1603,2	74,1	9,4	16,8	386,5	18,8	69,1
Асиметрія	0,12	0,58	-0,16	2,90	2,62	2,01	-0,42	-0,28	2,32	1,52	2,18
Екссес	-0,80	1,14	-0,50	10,97	9,10	5,90	-0,43	-0,14	7,58	3,72	6,79
Помилка середнього	3,08	1,15	0,98	0,06	39,52	1,83	0,25	0,48	9,33	0,48	1,69
Показник точності досліджу	6,17	5,64	5,54	15,24	14,38	11,73	4,38	5,04	12,96	10,19	12,56
Кількість, шт.	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
Тип лісорослинних умов – $D_3$											
Середнє значення	52,9	23,1	19,1	0,6	409,4	20,5	6,2	8,9	93,8	5,9	16,0
Дисперсія	27,6	11,7	8,6	0,6	414,0	18,1	2,9	4,1	88,2	4,7	14,3
Варіація	52,2	50,4	44,9	100,3	101,1	88,3	46,7	46,3	94,0	80,0	89,1
Мінімальне	8,0	3,4	2,2	0,0	4,9	0,4	0,4	1,1	0,6	0,1	0,3
Максимальне	97,0	47,6	33,8	2,4	1633,1	70,1	12,7	16,1	340,2	17,9	53,9
Асиметрія	-0,01	0,15	-0,38	1,24	1,26	0,93	0,06	-0,08	1,07	0,69	0,98
Екссес	-1,16	-0,75	-0,86	1,10	1,13	0,27	-0,60	-0,95	0,58	-0,28	0,36
Помилка середнього	3,27	1,38	1,02	0,07	49,14	2,15	0,35	0,49	10,46	0,56	1,69
Показник точності досліджу	6,20	5,98	5,33	11,90	12,00	10,47	5,54	5,49	11,16	9,49	10,58
Кількість, шт.	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
Розраховані значення статистичних показників гомологічності рядів											
$t$	5,15	11,85	8,17	15,29	16,72	13,64	8,53	8,65	12,24	12,50	8,27
$t^*$	1,42	1,98	0,93	0,47	3,20	2,04	1,76	0,53	2,13	1,32	0,76

Апроксимацію середнього видового числа ( $F$ ) досліджуваних деревостанів здійснено на основі моделі (6). Запаси деревостанів ( $M$ ) описано моделлю (7), а абсолютні повноти ( $G$ ) – моделлю (8):

$$F = (a_1 + a_2 \cdot H) \cdot H^{a_3} + a_4 \cdot D^{a_5}, \quad (6)$$

$$M = P \cdot (a_0 + a_1 \cdot H_B) \cdot H^{a_3 - a_4 \cdot \ln(H) - a_5 \cdot \ln(H)^2}, \quad (7)$$

$$G = (a_0 + a_1 \cdot H_B + a_2 \cdot H_B^2) \cdot (1 - e^{-a_3 \cdot H_B^{a_4 \cdot A}})^{a_5 \cdot \ln(H_B) + a_6}, \quad (8)$$

Для визначення кількості дерев ростучої частини використано значення абсолютної повноти і значення площі поперечного перетину на висоті 1,3 м для середнього значення діаметра деревостану. Коефіцієнти функції динаміки таксаційних показників модальних букових деревостанів наведено у табл. 2.

Дослідний матеріал опрацьовано сучасними методами з використанням прикладних програм

MS Excel, SPSS і Statistica. Дослідні дані та їхня кількість репрезентують деревостани Українських Карпат та відповідний склад основних лісотвірних порід. Зважаючи на динамічні процеси зміни клімату, участь лісів в яких є надзвичайно важливим чинником, дослідження їхньої біологічної продуктивності є актуальним завданням (Клерас, 1986). У цьому напрямі можна виділити три основних компоненти, які є цікавими для дослідження: насамперед – це *фітомаса дерев* яка формує надземну фітомасу деревостану (Lakyda, 2002); *мортмаса* – органічна ре-

човина відмерлих дерев та *біологічна продукція* – органічна речовина, яка щорічно продукується живими деревами (Govorčin, Sinković, & Trajković, 2003; Lakyda, 2002; Štajduhar, 1973.). Компонентом, який посідає чільне місце у згаданому переліку, є надземна фітомаса деревостану (Клерас, 1986), оскільки, крім того, що вона має найвищий ступінь залежності від лісівничо-таксаційних показників деревостану, решта компонентів фактично є похідними від неї (Клерас, 1986; Sutton, & Harris, 1973; Utkin, & Vomperskii, 1988).

Таблиця 2

**Коефіцієнти функції динаміки таксаційних показників модальних букових деревостанів Полонинського хребта Українських Карпат**

**Table 2. Coefficients of the dynamics function of mensurational indexes of modal beech forests stands of the Polonynian range of the Ukrainian Carpathians**

Індекс ТЛУ	Коефіцієнт рівняння							R <sup>2</sup>
	a <sub>0</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	
функції (3) моделей росту у висоту								
C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	2,785	-0,278	0,100	–	–	–	–	0,96
D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	2,538	-0,249	0,103	–	–	–	–	0,94
функції (4) динаміки відносної повноти								
C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	0,311	0,249	0,423	-0,318	-3,218	-0,918	–	0,94
D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	-0,483	-5,416	6,467	-0,024	-7,131	-0,083	–	0,95
функції (5) моделей росту за діаметром								
C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	6,174	0,117	-0,098	0,776	0,117	-1,39	1,125	0,95
D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	-0,187	0,009	-0,094	-0,002	79,253	-1,39	1,125	0,94
функції (6) динаміки видових чисел								
C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	0,456	-13,84	-50,22	0,819	-0,181	–	–	0,91
D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	0,456	-13,84	-50,22	0,819	-0,181	–	–	0,91
функції (7) динаміки загального запасу								
C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	0,253	1,167	0,069	2,157	0,121	0,057	–	0,94
D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	0,148	-0,136	0,065	3,487	-0,353	0,011	–	0,95
функції (8) динаміки абсолютної повноти								
C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	-59,62	5,086	-0,071	0,129	-0,226	-1,927	8,901	0,94
D <sub>2</sub> -D <sub>3</sub>	-21,13	1,596	-0,008	0,953	-0,551	-10,44	43,424	0,95

У цьому дослідженні, яке продовжує дослідження особливостей надземної фітомаси деревостанів *Fagus sylvatica* на основі вже раніше здійснених аналізів та узагальнень (Гриник, Задорожний, 2017; Гриник, Задорожний, 2018; Задорожний, 2015) розглянемо особливості формування структурних компонентів надземної фітомаси та здійснимо їхню формалізацію на основі регресійного аналізу з урахуванням типів лісорослинних умов. Для цього, зважаючи на досвід попередніх дослідників, використовуємо метод багатомірної математичної статистики, який найчастіше застосовують у практиці біометричних досліджень.

Значення показників фітомаси розраховано на основі щільності відповідних її фракцій в абсолютно сухому стані у [т×га<sup>-1</sup>]. Таксаційні ознаки, використано як вхідні параметри моделі, визначені на основі кореляційного аналізу.

Отримані математичні моделі мають такий вигляд (Гриник, Задорожний, 2018):

– для типу лісорослинних умов C<sub>3</sub>:

$$phm_{0,cm} = -38,8285 + 16,8147 \cdot D^{0,2987} \cdot H^{0,6345} \cdot П^{0,6111}, R_2 = 0,85; \quad (9)$$

$$phm_{к,cm} = -4,8536 + 3,9300 \cdot D^{0,0601} \cdot H^{0,4696} \cdot П^{0,6859}, R_2 = 0,81; \quad (10)$$

$$phm_{0,z} = -14,9872 + 9,9573 \cdot D^{0,1680} \cdot H^{0,5282} \cdot П^{0,7579}, R_2 = 0,84; \quad (11)$$

$$phm_{к.з.} = -1,3222 + 1,3220 \cdot D^{-0,0199} \cdot H^{0,4736} \cdot П^{0,8370}, R^2 = 0,85; \quad (12)$$

$$phm_{л.} = -2,9127 + 2,0755 \cdot D^{0,0934} \cdot H^{0,5728} \cdot П^{0,7494}, R^2 = 0,84; \quad (13)$$

де:  $phm_{д.см.}$  – фітомаса деревини стовбурів букових деревостанів;  $phm_{к.см.}$  – фітомаса кори стовбура;  $phm_{д.з.}$  – фітомаса гілок;  $phm_{к.з.к.}$  – фітомаса кори гілок;  $phm_{листя}$  – фітомаса листя;  $D$  – середній діаметр стовбура, см;  $H$  – середня висота стовбура, м;  $П$  – відносна повнота.

– для типу лісорослинних умов  $D_3$  (Hrynyk, & Zadorozhnyy, 2018):

$$phm_{д.см.} = -38,8647 + 16,7358 \cdot D^{0,2991} \cdot H^{0,6338} \cdot П^{0,6254}, R^2 = 0,83; \quad (14)$$

$$phm_{к.см.} = -4,8541 + 3,8796 \cdot D^{0,0598} \cdot H^{0,4668} \cdot П^{0,6861}, R^2 = 0,84; \quad (15)$$

$$phm_{д.з.} = -15,5320 + 10,1573 \cdot D^{0,1521} \cdot H^{0,5047} \cdot П^{0,6323}, R^2 = 0,88; \quad (16)$$

$$phm_{к.з.} = -1,3158 + 1,3121 \cdot D^{0,0190} \cdot H^{0,4692} \cdot П^{0,8322}, R^2 = 0,85; \quad (17)$$

$$phm_{л.} = -2,7209 + 2,0001 \cdot D^{0,0935} \cdot H^{0,5735} \cdot П^{0,7856}, R^2 = 0,91. \quad (18)$$

Зважаючи на високі значення показника регресії для різних компонентів надземної фітомаси деревостанів (0,81-0,91), отримані рівняння можна використовувати для моделювання їхньої динаміки залежно від вибраних таксаційних показників. Результати табулювання значень компонентів надземної фітомаси деревостанів бука лісового залежно від середніх значень висоти й діаметра стовбура та відносної повноти, які визначено для відповідного віку деревостанів у досліджуваних типах лісорослинних умов, наведено у табл. 3 та відображено на рис. 1 та 2, а відсоткові значення відповідних компонентів біопродуктивності – на рис. 3 та 4.

Таблиця 3

**Надземна стовбурова фітомаса букових деревостанів (відносна повнота 0,7)**

**Table 3. The absolutely dry above-ground phytomass components of beech forest stands (relative density 0.7)**

Вік, роки	Висота, м	Діаметр, см	Кількість дерев, шт.×га <sup>-1</sup>	Сума площ перетину, м <sup>2</sup> ×га <sup>-1</sup>	Запас, м <sup>3</sup> ×га <sup>-1</sup>	Фітомаса, т×га <sup>-1</sup>							
						стовбур	кора стовбура	гілки	кора гілок	листя	загальна	стовбур в корі	гілки в корі
Тип лісорослинних умов – $C_3$													
10	3,9	3,9	2794	3,3	9	9,1	1,4	4,5	0,6	1,0	16,6	10,6	5,1
20	7,8	8,0	2272	11,4	52	52,7	4,2	16,5	1,3	3,3	78,0	56,9	17,8
30	11,5	11,7	1622	17,3	107	92,8	6,3	26,3	1,9	5,1	132,5	99,1	28,2
40	15,0	15,1	1159	20,8	159	129,3	7,9	34,6	2,4	6,6	180,9	137,3	37,0
50	17,9	18,3	887	23,2	202	159,8	9,2	41,1	2,7	7,8	220,7	169,0	43,8
60	20,3	20,6	748	25,0	242	185,0	10,2	46,4	3,0	8,8	253,4	195,2	49,3
70	22,7	22,8	643	26,3	278	208,7	11,1	51,2	3,2	9,7	283,9	219,8	54,4
80	24,9	25,0	556	27,3	311	231,0	11,9	55,6	3,4	10,5	312,3	242,8	59,0
90	26,5	27,0	494	28,3	338	248,4	12,5	58,9	3,6	11,1	334,4	260,9	62,5
100	27,9	28,9	438	28,8	357	263,6	12,9	61,7	3,7	11,6	353,5	276,5	65,4
Тип лісорослинних умов – $D_3$													
10	4,6	4,6	2047	3,4	11	16,6	1,9	6,5	0,7	1,5	27,2	18,5	7,2
20	8,3	8,8	1924	11,8	57	59,3	4,4	17,3	1,4	3,5	85,9	63,7	18,7
30	12,2	12,8	1390	17,9	117	101,1	6,5	26,6	2,0	5,3	141,5	107,6	28,6
40	15,9	16,3	1025	21,5	173	139,2	8,2	34,5	2,4	6,9	191,3	147,4	37,0
50	19,4	19,9	767	23,9	226	175,4	9,6	41,5	2,8	8,2	237,5	185,0	44,3
60	22,3	22,9	625	25,7	273	205,5	10,8	47,0	3,1	9,3	275,7	216,3	50,1
70	24,9	25,3	538	27,1	313	230,9	11,7	51,6	3,4	10,2	307,7	242,5	54,9
80	26,5	27,5	475	28,2	342	249,4	12,3	54,7	3,5	10,8	330,6	261,6	58,2
90	28,0	29,2	433	29,0	366	264,8	12,8	57,3	3,6	11,3	349,7	277,5	60,9
100	29,3	30,7	400	29,6	385	278,0	13,2	59,5	3,8	11,7	366,1	291,2	63,2

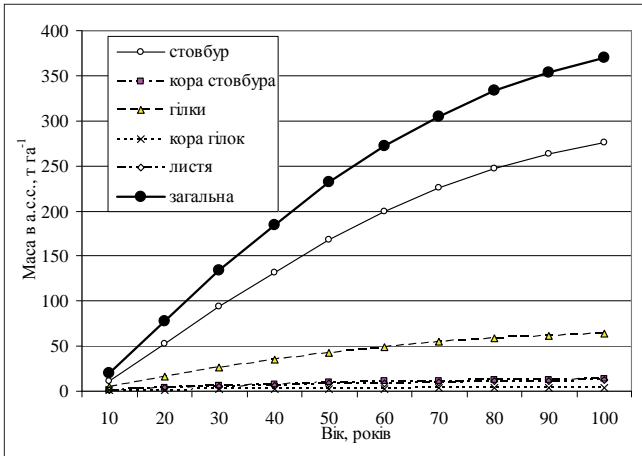


Рис. 1. Вікова динаміка компонентів надземної фітомаси букових деревостанів у типі лісорослинних умов  $C_3$  (відносна повнота 0,7)

Fig. 1. Age dynamics of absolutely dry above-ground phytomass components of beech forest stands in forest site  $C_3$  (relative density 0.7)

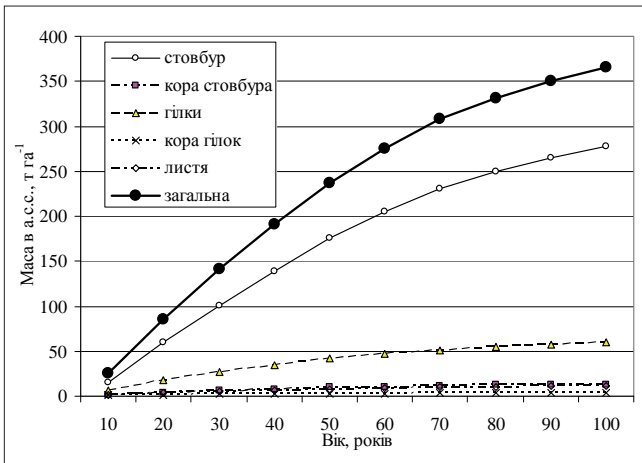


Рис. 2. Вікова динаміка компонентів надземної фітомаси букових деревостанів у типі лісорослинних умов  $D_3$  (відносна повнота 0,7)

Fig. 2. Age dynamics of absolutely dry above-ground phytomass components of beech forest stands in forest site type  $D_3$  (relative density 0.7)

Використовуючи відповідні залежності від середнього діаметра та висоти стовбурів і відносної повноти деревостанів, для встановлення біопродуктивності змодельовано значення окремих компонентів надземної фітомаси деревостанів *Fagus sylvatica*, а саме: фітомаси стовбура, кори стовбура, гілок, кори гілок та листя. Значення фітомаси стовбура у корі, гілок у корі та загальної фітомаси отримано додаванням значень відповідних компонентів. Для аналізу обрано деревостани з домінуванням бука лісового у досліджуваних типах лісорослинних умов I класу бонітету з відносною повнотою 0,70. Такі деревостани належать до модальних деревостанів – тобто до найпоширеніших. За результатами аналізу рис. 1-4 встановлено, що існує різниця у значеннях окремих компонентів фіто-

си. Також виявлено різницю у значеннях середніх таксаційних показників у досліджуваних типах лісорослинних умов. Зокрема значення середньої висоти для деревостанів у ТЛУ  $C_3$  від 10 до 100 років зростає від 4,1 до 28,7 м, у  $D_3$  – від 4,4 до 29,3 м; середнього діаметра – від 4,2 до 30,3 см та від 4,6 до 30,7 см відповідно. Кількість дерев у ТЛУ  $C_3$  зменшується від 5640 до 408 шт.×га<sup>-1</sup>, а у ТЛУ  $D_3$  – від 4836 до 409 шт.×га<sup>-1</sup>, сума площ перетину зростає від 7,8 до 29,4 м<sup>2</sup>×га<sup>-1</sup> та від 8,0 до 30,2 м<sup>2</sup>×га<sup>-1</sup> відповідно. Значення запасу також зростає від 7,8 до 379,9 м<sup>3</sup>×га<sup>-1</sup> у ТЛУ  $C_3$  та від 8,0 до 387,6 м<sup>3</sup>×га<sup>-1</sup> – у ТЛУ  $D_3$ . Разом з тим, фітомаса стовбура в ТЛУ  $C_3$  зростає від 11,7 до 276,2 т×га<sup>-1</sup>, у ТЛУ  $D_3$  – від 15,2 до 278,0 т×га<sup>-1</sup>; фітомаса кори стовбура – від 1,6 до 13,4 т×га<sup>-1</sup> та від 1,8 до 13,2 т×га<sup>-1</sup> відповідно; фітомаса гілок – від 5,3 до 64,4 т×га<sup>-1</sup> та від 6,1 до 59,5 т×га<sup>-1</sup>; фітомаса кори гілок – від 0,6 до 3,8 т×га<sup>-1</sup> та від 0,7 до 3,8 т×га<sup>-1</sup>; фітомаса стовбура в корі – від 13,3 до 289,7 т×га<sup>-1</sup> та від 17,0 до 291,2 т×га<sup>-1</sup>; гілок в корі – від 5,9 до 68,2 т×га<sup>-1</sup> та від 6,8 до 63,2 т×га<sup>-1</sup>. Загальна біопродуктивність дерев у досліджуваних деревостанах зростає від 20,4 до 369,9 т×га<sup>-1</sup> та від 25,1 до 366,1 т×га<sup>-1</sup> відповідно.

Отже встановлено, що модальні букові деревостани у віці від 10 до 100 років у властивих їм типах лісу в ТЛУ  $D_3$  незначно переважають подібні в ТЛУ  $C_3$  за такими таксаційними показниками, як середня висота (від 8,4 до 1,7%), середній діаметр (від 12,9 до 1,3%), сума площ поперечного перетину (від 2,81 до 2,73%), загальний запас деревини (від 1,01 до 1,17%). Кількість дерев на одиницю площі має зворотню тенденцію і є більшою в ТЛУ  $C_3$  (від 19,4 до 0,3%). Щодо компонентів надземної фітомаси дерев, яку використано для встановлення біопродуктивності деревостану, то в ТЛУ  $D_3$  вищі значення притаманні фітомасі стовбура (від 17,4 до 0,4%) та фітомасі стовбура у корі (від 16,3 до 0,6%).

Для решти компонентів фітомаси простежено дещо іншу тенденцію: фітомаса кори стовбура в ТЛУ  $D_3$  до віку 30 років є вищою на 4,4-12,3%, а у віці 31-100 років вищі значення притаманні деревостанам у ТЛУ  $C_3$ , де їхні значення переважають аналогічні на 2,2-7,6%. Кора гілок має подібну тенденцію, і до віку 70 років вищі значення на 0,2-9,2% спостережено у ТЛУ  $D_3$ , а від 71 до 100 років (на 0,3-1,9%) – у ТЛУ  $C_3$ . Фітомаса листя також до 60 років є вищою на 0,5-18,9% у ТЛУ  $D_3$ , а у віці 61-100 років вищі значення спостережено у ТЛУ  $C_3$  – на 0,4-2,8%. Сумарні значення фітомаси гілок у корі в ТЛУ  $D_3$  у віці 1-20 років є вищими на 4,2-14,2%, а від 21 до 100 років вищі значення (на 2,0-7,3%) виявлено у ТЛУ  $C_3$ .

Аналізуючи дані табл. 4, встановлено, що надземна стовбурова фітомаса молодняків загалом становить 1087426 т або 4,4%, середньовікових деревостанів – 12600837 т (51,2%), пристиглих – 2825636 т (11,5%), стиглих – 4673751 т (19,1%) та перестиглих – 3405124 т (13,8%).

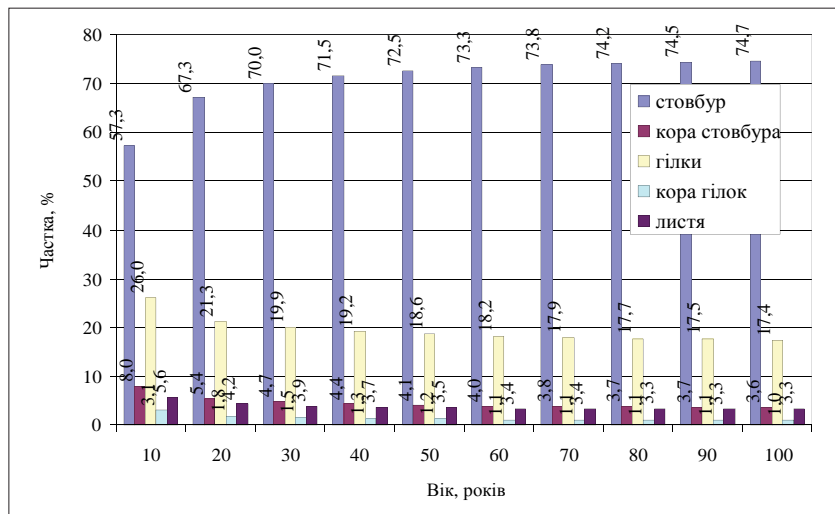


Рис. 3. Вікова динаміка частки компонентів надземної фітомаси букових деревостанів у типі лісорослинних умов C<sub>3</sub> (відносна повнота 0,7)

Fig. 3. Age dynamics of absolutely dry above-ground phytomass components share of beech forest stands in forest site type C<sub>3</sub> (relative density 0.7)

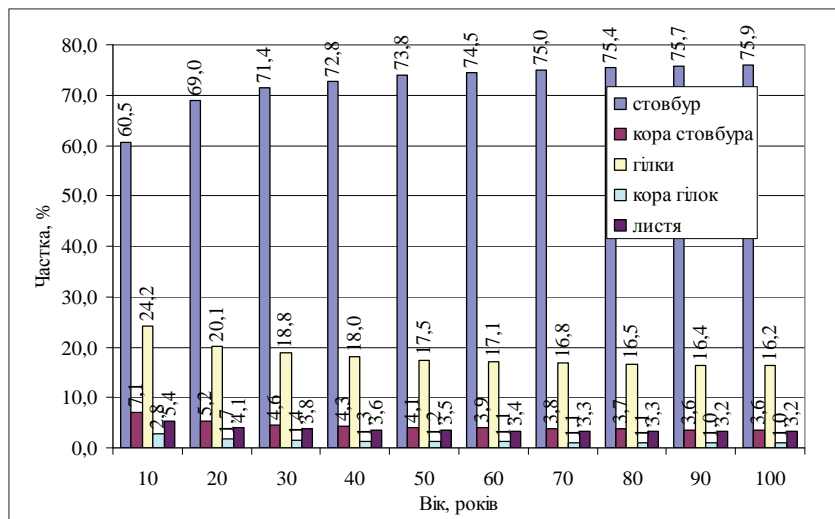


Рис. 4. Вікова динаміка частки компонентів надземної фітомаси букових деревостанів у типі лісорослинних умов D<sub>3</sub> (відносна повнота 0,7)

Fig. 4. Age dynamics of absolutely dry above-ground phytomass components share of beech forest stands in forest site type D<sub>3</sub> (relative density 0.7)

Таблиця 4

Динаміка біопродуктивності букових деревостанів  
Table 4. Beech forest stands bioproductivity dynamics

Групи віку	Площа, га	Стовбура біопродуктивність, т							
		стовбур	кора стовбура	гілки	кора гілок	листя	загальна	стовбур в корі	гілки в корі
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Молодняки I групи	4226	235918	18293	71537	5895	14356	345999	254211	77432
Молодняки II групи	5382	524488	34606	143521	10589	28223	741428	559094	154110
Середньовікові	46027	9314067	494652	2219592	143763	428763	12600837	9808719	2363356



Продовж. табл. 4  
Continuation of Table 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пристиглі	8513	2113839	105191	483463	30197	92947	2825636	2219030	513659
Стигли	13205	3480797	171709	818833	49092	153320	4673751	3652506	867925
Перестиглі	9253	2564322	122972	572945	35066	109819	3405124	2687294	608011
Всього	86605	18233432	947422	4309891	274602	827428	24592775	19180854	4584493
Частка, %	–	74,1	3,9	17,5	1,1	3,4	100,0	78,0	18,6

Таблиця 5

**Динаміка частки стовбурової біопродуктивності букових деревостанів**  
**Table 5. Dynamics of the share of stem bioproductivity of beech forest stands**

Групи віку	Стовбура біопродуктивність, %						
	стовбур	кора стовбура	гілки	кора гілок	листя	стовбур в корі	гілки в корі
Молодняки I групи	68,2	5,3	20,7	1,7	4,1	73,5	22,4
Молодняки II групи	70,7	4,7	19,4	1,4	3,8	75,4	20,8
Середньовікові	73,9	3,9	17,6	1,1	3,4	77,8	18,8
Пристиглі	74,8	3,7	17,1	1,1	3,3	78,5	18,2
Стигли	74,5	3,7	17,5	1,1	3,2	78,2	18,6
Перестиглі	75,3	3,6	16,8	1,0	3,2	78,9	17,9

Аналізуючи динаміку частки стовбурової біопродуктивності (табл. 5) встановлено, що частка фітомаси стовбура зростає від 68,2 до 75,3%, тоді як кори стовбура, навпаки, зменшується від 5,3 до 3,6%, гілок – від 20,7 до 16,8%, кори гілок – від 1,7 до 1,0%.

**Висновки (Conclusions).** Загальна біопродуктивність букових деревостанів у досліджуваних типах лісорослинних умов має близькі значення, але істотно відрізняється значеннями та структурою компонентів надземної фітомаси стовбурів деревостану. Загальна біопродуктивність вища у ТЛУ  $D_3$  у віці від 10 до 70 років (від 0,5 до 11,3%), після чого, починаючи з 81-річного віку, вищі значення притаманні модальним деревостанам у ТЛУ  $C_3$  (від 0,8 до 1,2%).

Загальна надземна стовбура фітомаса букових деревостанів на досліджуваній території становить 24 592 775 т, зокрема найбільшу частку становлять середньовікові деревостани – 51,2%. Зважаючи на нерівномірний розподіл площ деревостанів за групами віку, зі зростанням віку деревостану збільшується їхня відносна частка у загальній біопродуктивності. Найбільшу частку у загальній біопродуктивності надземної частини дерева становить фітомаса стовбура (74,1%), потім – гілок (17,5%), кори стовбура (3,9%), листя (3,4%) та кори гілок (1,1%).

Найбільшу частку у структурі загальної біопродуктивності букових деревостанів становить фітомаса стовбура. У розрізі вікових груп вона зі збільшенням віку деревостану зростає. Так само збільшується

значення частки стовбура у корі – від 73,5 до 78,9%. Частка гілок у корі з віком навпаки, зменшується – від 22,4 до 17,9%.

### Список літератури (References)

- Гриник, Г.Г. (2014). Статистичне обґрунтування особливостей виділення екс-позиційно-орографічних груп букових деревостанів Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 24 (9), 26-32. [Hrynyk, H. H. (2014). Statistical substantiation of the peculiarities of identifying expositional-oro-graphic groups of beech forest stands in the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 24 (11), 26-32. Retrieved from [https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24\\_9/7.pdf](https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_9/7.pdf)] (in Ukrainian)
- Гриник, Г.Г. (2015). Динаміка основних таксаційних показників модальних букових деревостанів різних експозиційно-орографічних груп Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 25 (4), 8-16. [Hrynyk, H. H. (2015). Dynamics of mensurational indexes of beech forests stands of different exposition-oro-graphic groups of the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 25 (4), 8-16. Retrieved from <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/1236>] (in Ukrainian)
- Гриник, Г.Г., Задорожний, А.І. (2018). Динаміка залежності надземної фітомаси букових деревостанів від їхніх таксаційних показників у

- переважаючих типах лісорослинних умов Полонинського хребта Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 17, 93-104. [Hrynyk, H. H., & Zadorozhnyu, A. I. (2018). Dynamics of dependence of the above-ground phytomass of beech stands on their mensurational indexes in the prevailing types of forest growth conditions of the Polonynian Range of the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 17, 93-104. <https://doi.org/10.15421/411824>] (in Ukrainian)
- Гриник, Г.Г., Задорожний, А.І. (2017). Моделі компонентів надземної фітомаси дерев бука лісового залежно від їхніх таксаційних показників у переважаючих типах лісорослинних умов Полонинського хребта Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 27 (10), 16-25. [Hrynyk, H. H., & Zadorozhnyu, A. I. (2017). Some Mathematical Models of Components of Above-ground Phytomass of Beech Trees Depending on Their Mensurational Indexes in the Prevailing Forest Vegetation Types of the Polonynian Range of the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 27 (10), 16-25. <https://doi.org/10.15421/40271002>] (in Ukrainian)
- Задоржний, А.І. (2015). Динаміка щільності фітомаси стовбурів дерев бука лісового залежно від типів лісорослинних умов у межах Полонинського хребта Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 25 (10), 125-134. [Zadorozhnyu, A. (2015). The Dynamics of Phytomass Density of Beech Tree Trunks Depending Upon Site Conditions Within the Polonynian Range of the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 25 (10), 125-134. <https://doi.org/10.15421/40251019>] (in Ukrainian)
- Лакин, Г.Ф. (1980). *Биометрия*. Москва: Высшая школа [Lakin, G.F. (1980). *Biometrics*. Moscow: High school] (in Russian)
- Лакида, П.І. (2002). *Фітомаса лісів України*. Тернопіль: Збруч [Lakyda, P.I. (2002). *Phytomass of Ukrainian Forests*. Ternopil: Zbruch] (in Ukrainian)
- Лакида, П.І., Василишин, Р.Д., Лашенко, А.Г., Теретньєв, А.Ю. (2011). *Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України*. Київ: Видавничий дім «ЕКО-інформ» [Lakyda, P.I., Vasylyshyn, R.D., Lashchenko, A. H., & Terentiev, A. Yu. (2011). *Normative assessment of components of aboveground phytomass of trees of the main forest-forming species of Ukraine* Kyiv: Publishing house "Eko-inform"] (in Ukrainian)
- Миклуш, С.І. (2011). Рівнинні букові ліси України: продуктивність та організація сталого господарства. Львів: ЗУКЦ [Myklush, S.I. (2011). *Plain beech forests of Ukraine: productivity and organization of sustainable development*. Lviv: ZUKTs] (in Ukrainian)
- Площі пробні лісовпорядні. *Метод закладання*. (2006). СОУ 02.02-37-476:2006. [Чинний від 2007-05-01]. Київ: Мінагрополітики України [Forest inventory sample plots. *Establishing method*. (2006). Corporate standard 02.02-37-476:2006]. Valid since May 1, 2007. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine] (in Ukrainian)
- Полубояринов, О.И. (1976). *Плотность древесины*. Москва: Лесная промышленность [Poluboiarinov, O. I. (1976). *Wood density*. Moscow: Forest industry] (in Russian)
- Швиденко, А.З. (1981). О моделировании нормативов динамики производительности горных древостоев. *Лесной журнал*, 3, 40-42. [Shvidenko, A.Z. (1981). About modeling of normative dynamics of productivity of mountain forests. *Forest journal*, 3, 40-42] (in Russian)
- Уткин, А.И., Вомперский, С.Э. *Анализ продукционной структуры древостоев*. Москва: Наука [Utkin, A. I., & Vomperskii, S. E. (1988). *Analysis of the productive structure of forests stands*. Moscow: Science] (in Russian)
- Уткин, А.И. (1975). Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты). *Лесоведение и лесоводство: результаты науки и техники*, 1, 9-189. [Utkin, A. I. (1975). Biological production of forests (methods of learning and results). *Forest science and forestry: the results of science and technologies*, 1, 9-189] (in Russian)
- Уткин, А.И. (1982). Методы исследования первичной продуктивности лесов. *Биологическая продуктивность лесов Поволжья*, 5, 59-72. [Utkin, A. I. (1982). Methods of studying primary biological productivity of forests. *Biological productivity of Povolzhia forests*, 5, 59-72] (in Russian)
- Barrios, A., Trincado, G., & Watt M. S. (2017). Wood Properties of Juvenile and Mature Wood of *Pinus radiata* D. Don Trees Growing on Contrasting Sites in Chile. *Forest Science*, 63 (2), 184-191. <https://doi.org/10.5849/forsci.2016-060>
- Carson, S.D., Cown, D.J., McKinley, R.B., & Moore, J.R. (2014). Effects of site, silviculture and seedlot on wood density and estimated wood stiffness in radiata pine at mid-rotation. *NEW Zealand Journal of Forestry Science*, 44, 26-48. <https://doi.org/10.1186/s40490-014-0026-3>
- Gerendian, A.Z., Peltola, H., Pulkkinen, P., Jaatinen, R., Pappinen, A., & Kellomäki, S. (2000). Differences in growth and wood property traits in cloned Norway spruce (*Picea abies*). *Canadian Journal of Forest Research*, 37 (12), 2600-2611. <https://doi.org/10.1139/X07-113>
- Gillespie, A.J. (1989). Linear regression models for biomass table construction using cluster samples. *Canadian Journal of Forest Research*, 19 (5), 664-673. <https://doi.org/10.1139/x89-103>
- Govorčín, S., Sinković, T., & Trajković, J. (2003). Some physical and mechanical properties of beech wood grown in Croatia. *Wood Research Bratislava*, 48 (3), 39-52
- Harmon, M.E., Franklin, J.F., Swanson, F.J., Solins P., Gregory, S.V., Lattin, J.D. ... Cummins, K.W. (1986). Ecology of Coarse Woody Debris in Temperate Ecosystems. *Advance in Ecological*

- Research*, 15, 133–302. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60121-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60121-X)
- Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins P., Gregory, S. V., Lattin, J. D. ... Cummins, K. W. (2004). Ecology of Coarse Woody Debris in Temperate Ecosystems. *Advances in Ecological Research*, 34, 59–234. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(03\)34002-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(03)34002-4)
- Horvat, I. (1959). *Osnovne fizičke i mehaničke karakteristike bukovine s područja Žumberka, Petrove Gore, Senjskog bila i Velebita*. Zagreb, 1-94 pp. [Horvat, I. (1959). *Basic physical and mechanical characteristics of beech from the area of Žumberak, Petrova Gora, Senjski bila and Velebit*. Zagreb, pp. 1-94] (in Croatian)
- Horvat, I. (1966). *Izveštaj o ispitivanju nekih fizičko-mehaničkih svojstava bukovine s područja šumarija Virovitica, Nebljusi i Perušić*: manuskripts. Zagreb. 58 p. [Horvat, I. (1966). *Report on the examination of some physical and mechanical properties of beech from the area of forestry Virovitica, Nebljusi and Perušić*: manuscripts. Zagreb] (in Croatian)
- Horvat, I. (1969). Osnovne fizičke i mehaničke karakteristike bukovine. *Drvna industrija*, 20 (11-12), 183-194. [Horvat, I. (1969). Basic physical and mechanical characteristics of beech. *Drvna industrija*, 20 (11-12), 183-194] (in Croatian)
- Klepac, D. (1986). Uvodni referat na simpoziju o bukvi. Kolokvij o bukvi. Velika-Zagreb. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet. Zagreb. 11-15 pp. [Klepac, D. (1986). Introductory paper at the symposium on beech. Colloquium on beech (pp. 11-15). Velika-Zagreb: University of Zagreb, Faculty of Forestry] (in Croatian)
- Louzada, J.L. (2000). Variação fenotípica e genética em características estruturais na madeira de *Pinus pinaster* Ait. O comprimento das fibras e a densidade até aos 80 anos de idade das árvores. Parâmetros genéticos na evolução juvenil – adulto das componentes da densidade da madeira. *Didactic, Applied Science Series*, No 143, UTAD, Vila Real, Portugal [Louzada, J.L. (2000). Phenotypic and genetic variation in structural features in *Pinus pinaster* Ait wood. The fiber length and density to 80 years of a tree's age. Genetic parameters in juvenile-mature evolution of wood density components. *Didactic, Applied Science Series*, 143, UTAD, Vila Real, Portugal] (in Portugal)
- Maclaren, J. P., Grace J. C., Kimberley, M. O., Knowles, R. L., & West, G. G. (1995). Height growth of *P. radiata* as affected by stocking. *NEW Zealand Journal of Forestry Science*. 25 (1), 73-90. Retrieved from <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.727.7223&rep=rep1&type=pdf>
- Petrić, B., & Šćukanec, V. (1980). Neke strukturne karakteristike domaće bukovine (*Fagus sylvatica* L.). *Drvna industrija*, 31 (9-10), 245-246. [Petrić, B., & Šćukanec, V. (1980). Some structural characteristics of domestic beech (*Fagus sylvatica* L.). *Drvna industrija*, 31 (9-10), 245-246] (in Croatian)
- Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Kemmerer, J., & Uhl, E. (2018). Wood density reduced while wood volume growth accelerated in Central European forests since 1870. *Forest Ecology and Management*, 429(1), 589-616. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.045>
- Štajduhar, F. (1973). Prilog istraživanja fizičko-mehaničkih svojstava bukovine u Hrvatskoj. *Drvna industrija*, 24 (3-4), 43-59. [Štajduhar, F. (1973). Contribution to the research of physical and mechanical properties of beech in Croatia. *Drvna industrija*, 24 (3-4), 43-59] (in Croatian)
- Sutton, W. R., & Harris, J. M. (1973). Effects of heavy thinning on wood density in radiata pine. *NEW Zealand Journal of Forestry Science*, 4, 112-115.
- Watt, M. S., Moore, J. R., Facon, J. P., Downes, G. M., Clinton, P. W., Coker, G., ..., Bown, H. E. (2006). Modelling the influence of stand structural, edaphic and climatic influences on juvenile *P. radiata* dynamic modulus of elasticity. *Forest Ecology and Management* 229, 136-144. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.03.016>
- Zobel, B. J., & Talbert, J. (1984). *Applied Forest tree improvement*. New York: John Wiley & Sons

### The stem bioproductivity of beech stands of the Polonynian Range of the Ukrainian Carpathians

H. Hrynyk<sup>1</sup>, A. Zadorozhnyy<sup>2</sup>,  
O. Hrynyk<sup>3</sup>

To study the stem bioproductivity, the components of the aboveground phytomass of trees and stands of European beech growing on the territory of the Polonynian Range of the Ukrainian Carpathians, experimental data collected during field work during the period of 2006-2017 were used according to the method of prof. P. Lakida. Using the appropriate dependences on the average diameter and height of trunks and the relative density of stands to determine bioproductivity, the values of the following components

<sup>1</sup> Heorhiy H. Hrynyk – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor at the Department of Forest Inventory and Forest Management, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: h.hrynyk@ntu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7417-5047>, ResearcherID: Q-8126-2017

<sup>2</sup> Andriy I. Zadorozhnyy – PhD in Agricultural Science, Senior Teacher at the Department of Forestry. Uzhhorod national university, 14 University st., Uzhhorod, Transcarpathian region, Ukraine, 88000. E-mail: andriy.zadorozhnyy@uzhnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0664-5462>

<sup>3</sup> Olena M. Hrynyk – PhD in Agricultural Science, Associate Professor at the Department of Botany, Wood Science and Non-Wood Forest Products. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: o.hrynyk@ntu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2710-6118>. ResearcherID: Q-8111-2017

of aboveground phytomass of European beech stands were simulated, namely: the phytomass of trunk, trunk bark, branches, branch bark and leaves. The values of the phytomass of the trunk in the bark, branches in the bark and the total phytomass were obtained by adding the values of the corresponding components of the phytomass. It is established that there is a difference in the values of individual components of phytomass. There were also differences in the values of the average mensurational indexes in the studied forest site types (FST), in particular: the value of the average height for stands in FST  $C_3$ , from the age of 10 to 100 years increases from 4.1 to 28.7 m, and in FST  $D_3$  – from 4.4 to 29.3 m, average diameter – from 4.2 to 30.3 cm and from 4.6 to 30.7 cm, respectively. The number of trees in FST  $C_3$  decreases from 5,640 to 408 pcs. $\times$ ha $^{-1}$  and in FST  $D_3$  – from 4,836 to 409 pcs. $\times$ ha $^{-1}$ , the sum of cross-sectional areas increases from 7.8 to 29.4 m $^2$  $\times$ ha $^{-1}$  and from 8.0 to 30.2 m $^2$  $\times$ ha $^{-1}$ , respectively. The value of the growing stock also increases from 7.8 to 379.9 m $^3$  $\times$ ha $^{-1}$  in FST  $C_3$  and from 8.0 to 387.6 m $^3$  $\times$ ha $^{-1}$  and in FST  $D_3$ . However, the phytomass of the trunk in TSC  $C_3$  increases from 11.7 to 276.2 t $\times$ ha $^{-1}$ , and in FST  $D_3$  – from 15.2 to 278.0 t $\times$ ha $^{-1}$ , the phytomass of the trunk bark – from 1.6 to 13.4 t $\times$ ha $^{-1}$  and from 1.8 to 13.2 t $\times$ ha $^{-1}$ , respectively, phytomass of branches – from 5.3 to 64.4 t $\times$ ha $^{-1}$  and from 6.1 to 59.5 t $\times$ ha $^{-1}$ , respectively, the phytomass of the bark of the branches – from 0.6 to 3.8 t $\times$ ha $^{-1}$  and from 0.7 to 3.8 t $\times$ ha $^{-1}$ , respectively, the phytomass of the trunk in the bark – from 13.3 up to 289.7 t $\times$ ha $^{-1}$  and from 17.0 to 291.2 t $\times$ ha $^{-1}$ , respectively, branches in the bark – from 5.9 to 68.2 t $\times$ ha $^{-1}$  and from 6.8 to 63.2 t $\times$ ha $^{-1}$ , respectively, and the total bioproductivity of trees in the studied stands increases from 20.4 to 369.9 t $\times$ ha $^{-1}$  and from 25.1 to 366.1 t $\times$ ha $^{-1}$ , respectively. Modal beech stands in their inherent forest types in FST  $D_3$

slightly prevail similar ones in FST  $C_3$  in the following mensurational indexes of stands: average height (from 8.4 to 1.7% from the age of 10 to 100 years), average diameter (from 12.9 up to 1.3%), the sum of cross-sectional areas (from 2.81 to 2.73%), the growing stock of stands (from 1.01 to 1.17%). For FST  $D_3$  higher values are inherent in the phytomass of the trunk (from 17.4 to 0.4%) and phytomass of the trunk in the bark (from 16.3 to 0.6%).

The trunk bark phytomass is higher in FST  $D_3$  up to the age of 30 years by 4.4-12.3%, and at an age of 31-100 years higher values are inherent in forest stands in FST  $C_3$ , where their values predominate similar ones by 2.2-7.6%. The bark of the branches has a similar tendency and up to the age of 70 years FST  $D_3$  has higher values by 0.2-9.2%, and from the age of 71 to 100 years FST  $C_3$  has higher values by 0.3-1.9%. Phytomass of leaves is also higher by 0.5-18.9% in FST  $D_3$  up to the age of 60 years, and at the age of 61-100 years it has higher values by 0.4-2.8% in FST  $C_3$ . The total values of phytomass of branches in the bark in FST  $D_3$  are higher by 4-2-14.2% at an age of 1-20 years, and from 21 to 100 years higher values by 2.0-7.3% were found in FST  $C_3$ . It is found that the above-ground trunk phytomass of young stands in general makes 1,087,426 t or 4.4%, middle-aged stands – 12,600,837 t (51.2%), maturing ones – 2,825,636 t (11.5%), mature ones – 4,673,751 t (19.0%) and overmature ones – 3,405,124 t (13.8%). Analyzing the dynamics of the share of stem bioproductivity, it was found that the share of phytomass of the trunk increases from 38.2 to 75.3%, the bark of the trunk, on the contrary, decreases from 45.3 to 3.6%, branches – from 20.7 to 16.8%, bark of branches – from 1.7 to 1.0%.

**Key words:** above-ground phytomass; tree trunk; forest site type; *Fagus sylvatica* L.; phytomass components; mensurational indexes.