



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412503>

Article received 2024.12.17

Article revised 2025.01.03

Article accepted 2025.05.30

Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print

ISSN 2616-5015 online

@ ✉ Correspondence author

Vira Moroz

vera_moroz@ukr.net

11 Lvivska st., Ternopil, 46000, Ukraine

УДК 630*[1+5]

Алометричні моделі фітомаси крони *Pinus sylvestris* L. за біометричними параметрами¹

В. В. Мороз², Г. Т. Криницький³

Встановлено статистично достовірні залежності фітомаси крони дерев *Pinus sylvestris* L. в абсолют-но сухому стані від біометричних параметрів дерева, зокрема віку, діаметра та висоти у деревостанах 24-122-річного віку.

Встановлено, що середня фітомаса гілок становить 13,2 кг, а зеленої маси – 26,1 кг, що підтверджує до-мінування цих компонентів у структурі крони. Мінімальні та максимальні значення фітомаси гілок окремих екземплярів сосни звичайної змінюються від 1,10 до 20,9 кг, а для зеленої – від 6,70 до 37,1 кг, що свідчить про значний діапазон розвитку крони. Оцінено варіабельність показників фітомаси: коефіцієнт варіації для гілок становить 46,1%, для деревної зеленої – 39,8%, для всієї крони – 40,8%, а для стовбура – 62,8%.

Коефіцієнти асиметрії та ексцесу для фітомаси крони мають від'ємні значення, що свідчить про пере-важання дерев із меншою масою крони. Збільшення віку, діаметра та висоти дерева супроводжується зрос-танням фітомаси крони, що підтверджено високими значеннями коефіцієнтів кореляції ($r = 0,879-0,990$). Встановлено, що діаметр і висота дерева є найінформативнішими предикторами фітомаси крони.

Розроблено алометричні рівняння для визначення фітомаси гілок і деревної зеленої, які засвідчують ви-сокий рівень придатності моделей ($R^2 = 0,93-0,98$). Встановлена фітомаса має мінімальне відхилення від нормативно-інформаційних матеріалів (до 0,03%), що підтверджує їхню практичну придатність для оціню-вання біопродуктивності штучних соснових деревостанів регіону. Встановлено відхилення базисної щільності фітофракцій від значень, отриманих іншими дослідниками для зони Українського Полісся.

Результати дослідження можуть бути використані для підвищення точності лісової інвентаризації та моніторингу біопродуктивності соснових насаджень, а також для удосконалення оцінки первинної продукції та вуглецевого балансу лісових екосистем.

Ключові слова: надземна фітопродукція; діаметр стовбура; висота дерева; об'єм стовбура; степеневі рівняння; кореляція; модельні дерева.

Вступ (Introduction).

Дослідження надземної фітомаси деревних рос-лин, зокрема компонентів крони, є важливою скла-довою оцінювання біопродуктивного потенціалу лісових екосистем. Фітомаса крони безпосередньо

пов'язана із фотосинтетичною активністю, струк-турою насаджень, адаптивністю до стресових чин-ників і загальною продуктивністю деревостанів. Упродовж останніх десятиліть проблема моделю-вання компонентів надземної фітомаси широко

¹ Робота підтримана грантом Національного фонду досліджень України, № 2021.01/0184

² Мороз Віра Василівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри агробіотехнологій, директор Навчально-наукового центру сталого енергетичного розвитку та кліматичної безпеки. Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46000, Україна. E-mail: vera_moroz@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1457-4641>

³ Криницький Григорій Томкович – академік Лісівничої академії аграрних наук України, Президент ЛАН України, доктор біологічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки, професор кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: krynytsk@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7020-9991>

досліджувалася як у вітчизняній, так і зарубіжній лісівничій науці.

В Україні ґрунтовні дослідження біопродуктивності деревостанів започатковано в межах Міжнародної біологічної програми. Значний внесок у вивчення фітомаси лісів Полісся та Карпат зроблено В.К. Мякушом (1972), М.А. Голубцем, Л.І. Половніковим (1970, 1975), а згодом – П.І. Лакидою (2002), О.М. Колосок (2002), М.М. Петренко (2002), І.П. Білоусом (2009), Р.Д. Васишиним (2014), В.І. Блищиком (2008), С.І. Миклушем (2011), В.П. Пастернаком (2011), В.В. Мороз, Ю.А. Никитюк та ін. (2020, 2021), Л.М. Матушевич (2021) та іншими. Вітчизняні дослідження охоплюють структуру надземної фітомаси дерев, зокрема *Pinus sylvestris* L. у різних регіонах України, та базуються на польових даних і нормативно-довідкових матеріалах.

Крона є одним із найважливіших компонентів дерева, що відображає санітарний стан, продуктивність та адаптаційні можливості лісостанів. Відповідно, розробка адекватних моделей крони сприяє підвищенню точності оцінювання фітомаси, прогнозуванню продуктивності лісів та екологічного стану екосистем.

Зокрема, Bílek et al. (2017) провели поглиблене дослідження взаємозв'язку між шириною крони *Pinus sylvestris* та діаметром стовбура у насадженнях Центральної Європи. Вони використали регресійні моделі, які враховують різні фактори росту та конкуренції, що дало змогу більш ретельно описати варіабельність параметрів крони у різних умовах. Аналогічно, Sporek, & Sporek (2023) розробили та валідували алометричну модель довжини крони для сосни у Польщі, яка базується на вимірах польових насаджень і дає змогу оперативно оцінювати структуру крони залежно від висоти і діаметра дерева. Diéguez-Aranda et al. (2013) звернули увагу на моделювання профілю крони сосни в Північно-Західній Іспанії, здійснивши детальний опис вертикального розподілу діаметрів крони і встановивши їх взаємозв'язок із фактором віку та щільності насаджень.

Ще одним вагомим внеском у цей напрям досліджень є робота Altanzagas et al. (2020), які запропонували алометричні функції для оцінювання фітомаси сосни в Монголії, базуючись на інтеграції таких морфометричних параметрів, як висота, діаметр стовбура, вік і висота до основи крони. Ці функції забезпечують надійний інструмент для розрахунку надземної фітомаси, що є ключовим показником для кількісного оцінювання поновлення лісів і запасів вуглецю.

За даними Yang et al. (2025) такі параметри крони, як її довжина, радіус, а також співвідношення цих розмірів до загальної висоти дерева, істотно залежать від віку, щільності лісостану та екологічних умов.

Вікові зміни призводять до трансформації структури крони, що відображає адаптивні відпо-

віді дерев на конкуренцію за світло і ресурси. Аналіз біофізичних характеристик крони, проведений Varo-Martínez & Navarro-Cerrillo (2021), виявив можливості використання цих параметрів для виявлення ослаблених лісових ділянок, що є важливим аспектом для моніторингу стану лісових екосистем і своєчасного прийняття управлінських рішень. Значний внесок у розуміння механізмів розвитку крони внесли Kellomäki, & Strandman (1995), які моделювали процес росту крони сосни з урахуванням інтенсивності перехоплення світла пагонами. Такий підхід дає змогу прогнозувати зміну форми крони залежно від доступності світлових ресурсів, що особливо актуально в густих і високостовбурних лісах.

Однак останнім часом основна тенденція у розробленні моделей розвитку крони – це застосування просторово-адаптивних підходів, коли до традиційних таксаційних параметрів додають екологічні змінні, топографічні характеристики, кліматичні умови і дані дистанційного зондування (Aguirre et al., 2020). Запровадження цих змінних дає можливість суттєво підвищити точність прогнозів фітомаси крони, площі листового вкриття, а також фотосинтетичної активності, що є критично важливим в контексті глобальної зміни клімату та загрози деградації лісових екосистем. Залучення дистанційних сенсорів (напр., LiDAR та супутникових знімків) дає можливість оперативно отримувати детальні просторові дані щодо структури крони у масштабах ділянки, району та регіону, що особливо цінно для екосистем, які швидко змінюються через антропогенні та природні чинники.

Таким чином, інтеграція класичних таксаційних методів з інноваційними екологічними та дистанційними даними відкриває перспективи для ефективного моделювання параметрів крони, оцінювання фітомаси і продуктивності лісів.

Попри значну кількість досліджень у цьому напрямі, низка важливих аспектів залишаються недостатньо вивченими. Зокрема, у вітчизняній практиці відсутні моделі, що дають змогу з високою точністю оцінювати фітомасу крони в абсолютно сухому стані за фітомасою стовбура, віком, діаметром і висотою дерева. Не вирішено також питання зворотної залежності – визначення маси стовбура на основі параметрів крони, що особливо актуально у застосуванні даних дистанційного зондування. Недостатньо врахованим залишається вплив морфології крони на первинну біопродуктивність деревостанів і вуглецево-поглинальну здатність фітоценозів.

Мета дослідження полягає у розробленні математичних моделей встановлення фітомаси крони *Pinus sylvestris* L. в абсолютно сухому стані у регіоні Українського Полісся, що базуються на структурних параметрах дерева та забезпечують високу точність прогнозування біопродуктивності деревостанів.

Об'єкти та методика досліджень (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – процес нагромадження фітомаси крони у штучних соснових деревостанах Українського Полісся залежно від біометричних показників дерев. Предмет досліджень – кількісне оцінювання фітомаси крони в абсолютно сухому стані з урахуванням біометричних показників дерев, зокрема віку, висоти, діаметра, а також фітомаси стовбура.

Під час проведення досліджень використано комплексну методику оцінювання фітомаси крони дерев *Pinus sylvestris* для умов Українського Полісся, що базується на поєднанні вагових, стереометричних, лабораторних і статистичних методів. Польові дослідження проведено у 2016-2021 рр. на 285 тимчасових пробних площах (ТПП) у трьох лісгосподарських округах – Західнополіському, Центральнопісському та Києво-Чернігівському, що забезпечило репрезентативність вибірки і достовірність отриманих результатів. Тимчасові пробні площі закладено відповідно до стандартів СОУ 02.02-37-476:2006. Методика досліджень ґрунтувалася на рекомендаціях П.І. Лакиди із модифікаціями для оцінювання фітомаси крони (Лакида та ін., 2012; Лакида, Морозюк, 2011).

Тимчасові пробні площі закладали переважно у деревостанах І-ІІІ класів бонітету з відносною повнотою 0,5-0,9. Частка сосни у складі деревостанів становила 80-100%. На пробних площах у соснових деревостанах зрубано модельні дерева, для яких ваговим методом встановлювали масу гілок та деревної зелені, а також вимірювали довжину і діаметр стовбура.

Для оцінювання надземної фітомаси використано 40 модельних дерев 24-122-річного віку діаметром 9,0-29,8 см та висотою 12,3-30,7 м. Масу гілок та деревної зелені встановлювали у польових умовах із подальшим визначенням їхньої вологості шляхом висушування зразків до постійної маси за температури 105°C. Зразки висушували у лабораторії моніторингу вуглецево-поглинальної здатності фітоценозів у Західноукраїнському національному університеті. Для сушіння зразків використовували шафу сушильну СП-50С.

Частку вмісту сухої речовини у фракції фітомаси обчислювали за формулою:

$$S = \left(1 - \frac{m_{nat} - m_0}{m_{nat}}\right) \cdot 100, \quad (1)$$

де S – вміст сухої речовини, %; m_{nat} – маса зразка фракції у натуральному (свіжозрубаному) стані, кг; m_0 – маса зразка фракції в абсолютно сухому стані, кг.

Фітомасу деревини та кори в абсолютно сухому стані визначали за об'ємом відповідних компонентів (Лісотаксаційний довідник, 2021) та базисною щільністю фітофракції:

$$m = V \times \rho_{bas} \quad (2)$$

де: m – фітомаса фракції в абсолютно сухому стані, кг; V – об'єм компонента, м³; ρ_{bas} – базисна щільність, кг/м³.

Встановлення об'єму стовбура (V_{ct}) здійснювали за класичною формулою у лісовій таксації:

$$V_{ct} = g_{1,3} \times h \times f \quad (3)$$

де: V_{ct} – об'єм стовбура, м³; $g_{1,3}$ – площа поперечного перерізу на висоті 1,3 м, м²; h – висота, м; f – виводне число.

Площу поперечного перерізу стовбура сосни звичайної визначали за рівнянням:

$$g_{1,3} = \frac{\pi}{4} \times d_{1,3}^2 = 0,785 \times d_{1,3}^2 \quad (4)$$

де $d_{1,3}$ – діаметр стовбура на висоті 1,3 м.

Для встановлення видового числа використали залежність М. Кунце:

$$f = q_2 - c \quad (5)$$

де: f – старе видове число, q_2 – другий коефіцієнт форми (для сосни 0,65 за Є.І. Цуриком, 2006), c – величина для параболоїда другого порядку (для деревного стовбура сосни становить 0,2).

Результати досліджень (Results).

Враховуючи показники формул 1-4, одержано рівняння об'єму стовбура для сосни звичайної:

$$V_{ct} = (q_2 - c) \times 0,785 \times d_{1,3}^2 \times h \quad (6)$$

де: V_{ct} – об'єм стовбура, м³, $d_{1,3}$ – діаметр стовбура на висоті 1,3 м, h – висота стовбура, м.

Для встановлення адекватності отриманої формули здійснено порівняння між значеннями, вирахованими за цією формулою та існуючими значеннями в інформаційно-довідкових матеріалах (Білоус та ін., 2021) (рис. 1).

Порівняння отриманих показників об'єму стовбура сосни за отриманим рівнянням і за інформаційно-довідковими матеріалами показало, що розбіжність не перевищує 0,03%, і це дає підставу для застосування цієї формули у практиці.

Об'єм стовбура дерева розподіляли на об'єм деревини і кори, використовуючи рівняння:

$$V_d = V_{ct} \times \left(1 - \frac{P_k}{100}\right) \quad (7)$$

де: V_d – об'єм деревини, P_k – частка об'єму кори (за показниками, взятими із «Лісотаксаційного довідника»).

Для визначення первинної біотичної продукції, яка є кількісною характеристикою біопродукційного процесу і зазвичай оцінюється поточним приростом компонентів фітомаси дерев і деревостанів, досліджували фітомасу гілок та зелені. У табл. 1 наведено узагальнені статистичні показники модельних дерев.

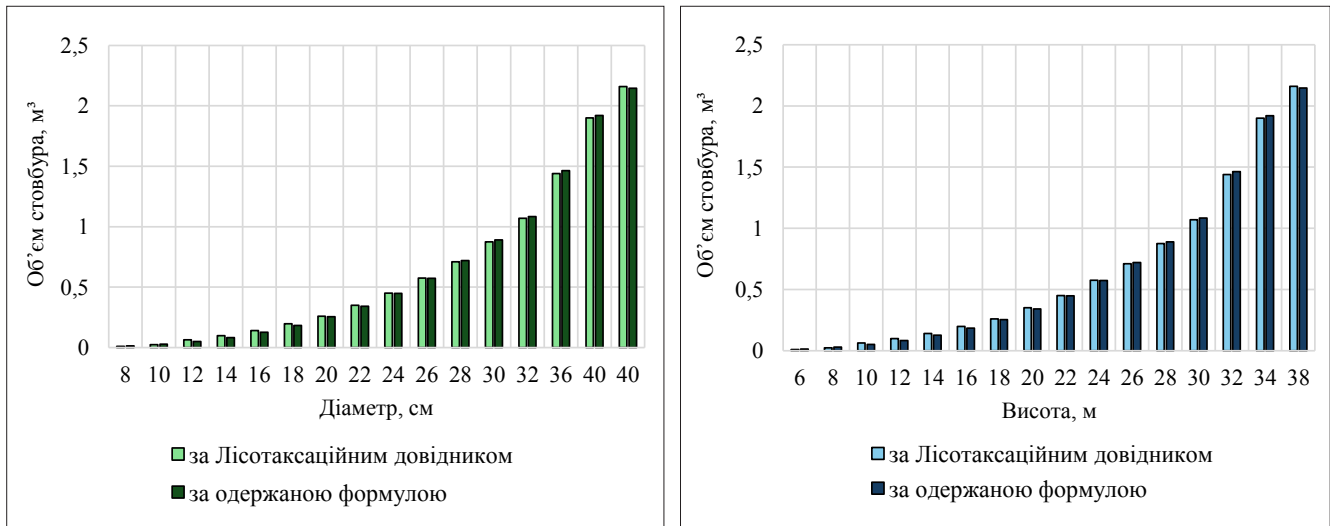


Рис. 1. Об'єм стовбура дерев *Pinus sylvestris*, встановленим за рівнянням (6) та за інформаційно-довідковими матеріалами (Білоус та ін., 2021)

Fig. 1. The trunk volume of *Pinus sylvestris* trees determined by equation (6) and reference materials (Bilous et al., 2021)

Таблиця 1. Основні статистичні характеристики модельних дерев *Pinus sylvestris* у сирому стані
Table 1. Main statistical characteristics of model *Pinus sylvestris* trees in a raw state

Показники	<i>a</i> (вік дерева, років)	<i>d</i> (діаметр дерева, см)	<i>h</i> (висота дерева, м)	<i>m_{gl}</i> (фітомаса гілок, кг)	<i>m_{zl, xv}</i> (фітомаса зелені, кг)
X_{cp} (середнє арифметичне значення)	72,1	21,6	23,6	13,2	26,1
C_v (стандартна помилка)	5,49	1,04	0,94	0,96	1,64
σ (стандартне відхилення)	34,7	6,60	5,92	6,10	10,4
D (дисперсія вибірки)	1203,6	43,6	35,0	37,2	107,7
A (коефіцієнт асиметрії)	0,127	-0,715	-0,630	-0,917	-0,634
E (ексцес)	-1,48	-0,739	-0,904	-0,406	-1,15
min (мінімум)	24,0	9,00	12,3	1,10	6,70
max (максимум)	122,0	29,8	30,7	20,9	37,1
V (коефіцієнт варіації), %	48,1	30,6	25,1	46,1	39,8

Аналіз основних статистичних характеристик модельних дерев сосни у сирому стані свідчить про значну індивідуальну мінливість як біометричних параметрів, так і фракцій фітомаси. Середні значення фітомаси гілок (13,2 кг) та фітомаси зелені (26,1 кг) вказують на переважання дерев із середніми показниками цих компонентів, проте високі коефіцієнти варіації (46,1% для гілок і 39,8% – для фітомаси зелені) свідчать про суттєве розсіювання даних навколо середнього значення.

Коефіцієнти асиметрії для фітомаси гілок ($A = -0,917$) та фітомаси зелені ($A = -0,634$) є від'ємними та мають значення понад 0,5 за абсолютною величиною, що вказує на сильну лівосто-

ронню асиметрію розподілу. Це означає, що у вибірці переважають дерева з фітомасою, більшою за середню, а значення, менші ніж середнє, трапляються рідше.

Коефіцієнти ексцесу для обох компонентів фітомаси також від'ємні ($E = -0,406$ для гілок та $E = -1,15$ для фітомаси зелені), що свідчить про туповершинний характер розподілу. Згідно з критеріями оцінювання, для фітомаси гілок ексцес свідчить про незначну туповершинність, а для фітомаси зелені – про сильну туповершинність. Це означає, що значення фітомаси менші згруповані навколо середнього, а крайні (дуже великі або дуже малі) значення трапляються рідше, ніж за нормального розподілу.

Таким чином, отримані результати досліджень засвідчують високу мінливість фітомаси гілок і зеленої маси у модельних дерев сосни, а також специфічну форму розподілу цих ознак – туповершинну та лівосторонньо асиметричну. Цю особливість потрібно враховувати під час планування лісогосподарських заходів, оцінювання запасів фітомаси та моделювання продуктивності насаджень.

Під час вивчення залежностей між випадковими величинами важливим кроком є перевірка наявності кореляційного зв'язку між ними. Це дає змогу визначити єдину міру ступеня тісноти взаємозв'язку та оцінити вплив досліджуваного чинника на загальні зміни результативної ознаки. У табл. 2 наведено результати кореляційного аналізу.

Таблиця 2. Кореляційна матриця біометричних показників і фітомаси крони дерев *Pinus sylvestris* у сирому стані

Table 2. Correlation matrix of biometric indicators and crown phytomass *Pinus sylvestris* in a raw state

Показники	<i>a</i> (вік дерева, роки)	<i>d</i> (діаметр дерева, см)	<i>h</i> (висота дерева, м)	<i>m_{gil}</i> (фітомаса гілок, кг)	<i>m_{zl, xv}</i> (фітомаса зелені, кг)
<i>a</i> (вік дерева, роки)	1,000	–	–	–	–
<i>d</i> (діаметр дерева, см)	0,933	1,000	–	–	–
<i>h</i> (висота дерева, м)	0,948	0,990	1,000	–	–
<i>m_{gil}</i> (фітомаса гілок, кг)	0,879	0,957	0,957	1,000	–
<i>m_{zl, xv}</i> (фітомаса зелені, кг)	0,935	0,987	0,984	0,971	1,000

Кореляційний аналіз виявив тісний позитивний зв'язок між віком дерев та іншими біометричними параметрами, що свідчить про односпрямовану динаміку зростання. Зі збільшенням віку значно зростають як розміри дерев (діаметр і висота), так і маса їхньої крони. Найслабший зв'язок виявлено між віком і фітомасою гілок, однак і він зберігає високу кореляційну силу, що вказує на стабільне нарощування деревини з віком.

Маса гілок та зеленої фітомаси зростає приблизно в однаковій пропорції зі збільшенням діаметра: різниця у тісноті зв'язку становить менше 3%.

Між двома основними складовими фітомаси крони – гілками та зеленою масою спостерігається практично лінійна залежність. Отже, зі збільшенням деревної частини крони відбувається пропорційне збільшення її асиміляційного апарату, що притаманно деревостанам зі стабільною морфологічною структурою.

Висота дерева виявляє дуже високу кореляцію з фітомасою гілок (0,957) і фітомасою зелені (0,984), що вказує на тісний зв'язок між розміром дерева і нагромадженням фітомаси в кроні.

Фітомаса гілок і фітомаса зелені також дуже тісно корелюють між собою (0,971), що свідчить про спільний ріст цих компонентів крони.

Під час проведення регресивного аналізу одержано рівняння залежності для гілок сосни:

$$m_{gil} = 0,039 \times a^{-0,817} \times d^{4,54} \times h^{-1,50} \quad R^2=0,945 \quad (8)$$

$$m_{gil} = 0,257 \times d^{5,05} \times h^{-3,68} \quad R^2=0,933 \quad (9)$$

та для деревної зелені сосни:

$$m_{zl, xv} = 0,283 \times a^{-0,025} \times d^{1,18} \times h^{0,242} \quad R^2=0,982 \quad (10)$$

$$m_{zl, xv} = 0,267 \times d^{1,16} \times h^{0,308} \quad R^2=0,982 \quad (11)$$

де: *a* – вік дерева, роки; *d* – діаметр дерева, см; *h* – висота дерева, м; *m_{gil}* – фітомаса гілок, кг; *m_{zl, xv}* – фітомаса зелені, кг.

В отриманих рівняннях ступінь залежності варіації залежної змінної від варіації незалежних змінних коливається в межах від 93,3 до 98,2%. Тому ці формули доцільно застосовувати у подальших розрахунках.

Під час аналізу базисної щільності фітофракцій встановлено їх відповідність показникам, запропонованих П.І. Лакидою та ін. (2011, 2013) для сосни звичайної у зоні Українського Полісся для штучних деревостанів. Згідно з його даними і даними наших досліджень, базисна щільність деревини у корі становить 410 кг/м³, а базисна щільність гілок у корі – 383 кг/м³. Саме ці значення використано в подальших розрахунках. За рівнянням 2 визначено фітомасу крони і стовбура в абсолютно сухому стані. Результати, опрацьовані статистичним методом, наведені в табл. 3.

Аналіз основних статистичних показників модельних дерев засвідчує, що фітомаса стовбура в сухому стані суттєво переважає фітомасу крони – у середньому в 7,2 рази. При цьому маса стовбура характеризується значно більшою варіабельністю (*V* = 62,8%) порівняно з кроною (*V* = 40,8%), що вказує на ширший діапазон індивідуальних

відмінностей серед дерев. Отримані результати засвідчують, що розвиток стовбура є чутливішим до впливу зовнішніх і внутрішніх чинників, ніж фор-

мування крони. Цей аспект варто враховувати під час оцінювання продуктивності насаджень і плануванні лісогосподарських заходів.

Таблиця 3. Основні статистичні показники модельних дерев *Pinus sylvestris* за біометричними параметрами та фітомасою у сухому стані

Table 3. Main statistical indicators of model trees *Pinus sylvestris* by biometric parameters and phytomass in a dry state

Показники	a (вік дерева, роки)	d (діаметр дерева, см)	h (висота дерева, м)	M_{kr} (фітомаса крони дерева, кг)	M_{st} (фітомаса стовбура, кг)
X_{cp} (середнє арифметичне значення)	72,1	21,6	23,6	27,2	194,7
C_v (стандартна помилка)	5,49	1,04	0,936	1,76	19,3
σ (стандартне відхилення)	34,7	6,6	5,9	11,1	122,2
D (дисперсія вибірки)	1203,6	43,6	35,0	123,2	14944,7
A (коефіцієнт асиметрії)	0,127	-0,715	-0,630	-0,692	-0,094
E (ексцес)	-1,48	-0,739	-0,904	-1,01	-1,41
min (мінімум)	24,0	9,0	12,3	6,2	14,4
max (максимум)	122	29,8	30,7	39,5	386,8
V (коефіцієнт варіації), %	48,1	30,6	25,1	40,8	62,8

Коефіцієнти асиметрії для фітомаси мають від'ємні значення (-0,692 для крони і -0,094 для стовбура), що свідчить про незначну лівосторонню асиметрію розподілу.

Ексцес для фітомаси крони (M_{kr}) становить -1,01, а для фітомаси стовбура (M_{st}) – -1,41. Отже, розподіли цих ознак є туповершинними, тобто значення фітомаси у вибірці менше сконцентровані навколо середнього, ніж у нормальному розподілі, а крайні (дуже великі або дуже малі) значення трапляються рідше. Така форма розподілу характерна для вибірок, де переважають значення, близькі до середнього, а розсіювання ознаки є відносно рівномірним.

Отримані дані кореляційної матриці підтверджують, що фітомаса як крони, так і стовбура зумовлена їхніми біометричними параметрами. Найтісніший зв'язок встановлено між віком, діаметром та висотою дерева і його фітомасою, що підтверджує їх використання як надійних індикаторів для оцінювання запасів фітомаси деревостанів (табл. 4).

Усі кореляційні коефіцієнти наближаються до 1, що вказує на тісний позитивний зв'язок між показниками. Зокрема, найвищий зв'язок спостерігається між висотою дерева (h) та діаметром стовбура (d) ($r = 0,990$), а також між віком дерева (a) та фітомасою стовбура (M_{st}) – $r = 0,985$.

Таблиця 4. Кореляційна матриця біометричних показників і фітомаси в сухому стані

Table 4. Correlation matrix of biometric indicators and phytomass in a dry state

Показники	a (вік дерева, роки)	d (діаметр дерева, см)	h (висота дерева, м)	M_{kr} (фітомаса крони, кг)	M_{st} (фітомаса стовбура, кг)
a (вік дерева, роки)	1,000	–	–	–	–
d (діаметр дерева, см)	0,933	1,000	–	–	–
h (висота дерева, м)	0,948	0,990	1,000	–	–
M_{kr} (фітомаса крони, кг)	0,928	0,985	0,983	1,000	–
M_{st} (фітомаса стовбура, кг)	0,985	0,968	0,971	0,955	1,000

Таким чином, наведені у таблиці результати узгоджуються з біологічними закономірностями росту деревних рослин – усі параметри розвиваються синхронно, а біометричні характеристики тісно пов'язані з нагромадженням сухої фітомаси як у кроні, так і в стовбурі. Таким чином, вік і розмірні характеристики дають змогу достовірно прогнозувати масу стовбура.

У процесі математичного моделювання одержано рівняння залежності фітомаси крони сосни в абсолютно сухому стані від біометричних параметрів дерева:

$$M_{kr} = 1,67 \times M_{st}^{0,543} \quad R^2=0,980 \quad (12)$$

$$M_{kr} = 0,252 \times a^{-0,088} \times d^{1,58} \times h^{0,054} \quad R^2=0,980 \quad (13)$$

$$M_{kr} = 2,21 \times a^{-0,167} \times M_{st}^{0,626} \quad R^2=0,979 \quad (14)$$

$$M_{kr} = 0,309 \times d^{1,63} \times h^{-0,180} \quad R^2=0,979 \quad (15)$$

$$M_{kr} = 10,5 \times \ln(M_{st}) - 24,2 \quad R^2=0,951 \quad (16)$$

де: M_{kr} – фітомаса крони в абсолютно сухому стані, кг; M_{st} – фітомаса стовбура в абсолютно сухому стані, кг; a – вік дерева, роки; d – діаметр стовбура на висоті 1,3 м, см; h – висота дерева, м.

Серед отриманих залежностей рівняння 12 і 13 характеризуються високим коефіцієнтом детермінації, який змінюється від 0,951 до 0,980. Для подальшого оцінювання доцільності застосування рівняння 12 здійснено порівняння з існуючими інформаційно-довідковими таблицями пофракційної фітомаси, запропонованими П.І. Лакидою та співавторами (2002, 2011), а також з результатами, отриманими за формулою 12 (рис. 2).

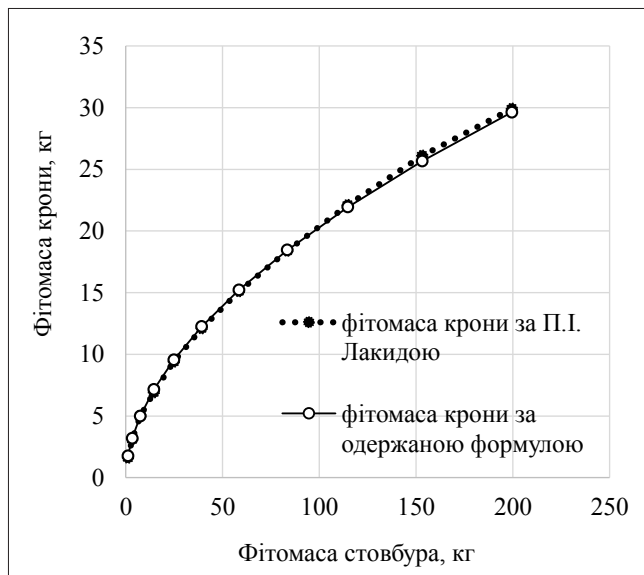


Рис. 2. Порівняння значень фітомаси крони і стовбура дерев *Pinus sylvestris* в абсолютно сухому стані, отриманих П.І. Лакидою та ін. (2002, 2011) і розрахованих за формулою (12)

Fig. 2. Comparative analysis of pine crown phytomass in oven-dry state according to P.I. Lakyda et al. (2002, 2011) and calculated by the formula (12)

Порівняння розрахункових значень фітомаси крони зі значеннями в інформаційно-довідкових таблицях показало відхилення не більше ніж на 0,04 %, що дає можливість використовувати модель для оперативного оцінювання фітомаси крони без додаткового корегування.

Запропоновані моделі фітомаси крони і стовбура для сосни звичайної мають високу точність, підтверджену статистичним і порівняльним аналізом, і можуть бути рекомендовані для практичного використання у лісовому господарстві, біомоніторингу та оцінюванні вуглецевого балансу.

Дискусія (Discussion).

Отримані результати щодо структурних і кількісних характеристик фітомаси крони соснових деревостанів Українського Полісся загалом узгоджуються з сучасними науковими уявленнями про алометричні закономірності формування фітомаси у хвойних лісах помірного кліматичного поясу (Bílek et al., 2017; Diéguez-Aranda et al., 2013; Mäkelä & Vanninen, 1998). Виявлена висока варіабельність біометричних ознак і фітомаси крони корелює з результатами досліджень, виконаних у різноманітних екологічних умовах Європи (Sporek & Sporek, 2023; Altanzagas et al., 2020), що підтверджує універсальність виявлених алометричних залежностей. Таким чином, одержані дані узгоджуються як з іноземними, так і вітчизняними джерелами (Bílek et al., 2017; Altanzagas et al., 2020; Лакида, 2002), що засвідчує стабільність основних морфометричних закономірностей формування фітомаси у соснових деревостанах помірної зони.

Встановлені у роботі тісні кореляційні зв'язки між діаметром, висотою та фітомасою крони співвідносяться з висновками щодо ключової ролі розмірних параметрів у формуванні надземної фітомаси (Cao et al., 2019; Bílek et al., 2017). Зокрема, модельні залежності для *Pinus sylvestris* L., отримані у країнах Центральної та Східної Європи, демонструють подібний характер впливу діаметра та висоти дерев на структуру крони (Bílek et al., 2017; Sporek M., Kučerka & Sporek K., 2025).

Варто відзначити, що коефіцієнти детермінації побудованих у дослідженні моделей ($R^2 = 0,93-0,98$) відповідають або перевищують аналогічні показники, наведені у сучасних іноземних публікаціях (Altanzagas et al., 2020; Diéguez-Aranda et al., 2013), що свідчить про високу прогностичну здатність використаних алометричних рівнянь.

Порівняння результатів моделювання з даними нормативно-довідкових таблиць (Лакида, 2002; Білоус та ін., 2021) показало мінімальні відхилення, що також підтверджує відповідність отриманих моделей існуючим стандартам та їхню придатність для практичного застосування у лісовому господарстві.

Одержані результати узгоджуються із сучасними уявленнями про вплив віку, бонітету та екологічних чинників на формування фітомаси крони, що відзначено у низці досліджень для різних регіонів

Європи та Азії (Aguirre et al., 2020; Lisitsyn et al., 2024). Зокрема, пластичність крони сосни звичайної у відповідь на конкуренцію та аридність середовища підтверджена роботами Aguirre et al. (2020) та Mäkelä, & Vanninen (1998).

Важливо підкреслити, що використання сучасних алометричних моделей для оцінювання фітомаси крони актуально не лише для локальних інвентаризацій, але й для задач моніторингу вуглецевого балансу та верифікації даних дистанційного зондування (Moroz et al., 2020; Moroz, & Nykytiuk, 2020; Moroz, & Nykytiuk, 2021; Vasylyshyn et al., 2021).

Таким чином, результати проведеного дослідження узгоджуються із загальновизнаними тенденціями, відображеними у сучасних міжнародних наукових працях, та розширюють емпіричну основу для моделювання біопродуктивності соснових лісів в умовах Українського Полісся.

Практична цінність запропонованих моделей полягає у можливості їх використання для оперативного оцінювання фітомаси крони в процесі лісотаксації, обґрунтування лісгосподарських рішень, а також для проведення довгострокового екологічного моніторингу стану деревостанів.

Висновки (Conclusions).

1. Встановлено високий рівень варіабельності біометричних показників і фітомаси крони у модельних дерев ($n = 40$); коефіцієнти варіації для віку, діаметра, висоти, маси гілок і деревної зелені становлять 25-48%.

2. Виявлено тісний кореляційний зв'язок між біометричними параметрами та фітомасою крони ($r = 0,879-0,990$), що сприяло розробленню надійних степеневих регресійних моделей для оцінювання маси гілок та деревної зелені як у сирому, так і в абсолютно сухому стані. Найбільш інформативними предикаторами виступають діаметр на висоті 1,3 м та висота дерева.

3. Розроблені алометричні рівняння для оцінювання фітомаси крони мають високі коефіцієнти детермінації ($R^2 = 0,93-0,98$) і мінімальну похибку при порівнянні з нормативно-довідковими матеріалами (відхилення не перевищує 0,04%), що підтверджує придатність моделей для практичного застосування у лісовпорядкуванні, моніторингу біопродуктивності та оцінюванні вуглецевого балансу.

4. Найбільш надійною для оцінювання фітомаси крони є модель із використанням фітомаси стовбура, оскільки вона інтегрує інформацію про діаметр, висоту і щільність деревини, забезпечуючи найнижчу помилку прогнозування.

5. Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні вибірки для різних регіонів, типів лісу та вікових груп, а також у розробленні моделей для інших видів дерев і впровадженні результатів у системи цифрового лісового моніторингу.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Aguirre, A., Río, M., & Condés, S. (2020). Crown plasticity of five pine species in response to competition along an aridity gradient. *Forest Ecology and Management*, 473, 118302. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118302>
- Altanzagas, B., Dorjsuren, C., Garden, B., Gerelbaatar, S., & Tunglag, M. (2020). Tree-level above-ground biomass equations for *Pinus sylvestris* L. in Mongolia. *Mongolian Journal of Biological Sciences*, 18, 13-21. <https://doi.org/10.22353/mjbs.2020.18.02>
- Bílek, L., Vacek, Z., Sharma, R., & Vacek, S. (2017). Modelling crown width–diameter relationship for Scots pine in Central Europe. *Trees*, 31, 1875-1889. <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1593-8>
- Bilous, A.M. (2009). *Aboveground phytomass and deposited carbon of aspen stands in the Eastern Polissya of Ukraine* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0409U003699> [Білоус, А.М. (2009). Надземна фітомаса та депонований вуглець осикових деревостанів східного Полісся України (автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Bilous, A., Kashpor, S., Myronyuk, V., Svinchuk, V., & Lesnik, O. (2021). *Forest Taxation Handbook*. Kyiv: Vinichenko Publishing House [Білоус, А.М., Кашпор, С.М., Миронюк, В.В., Свинчук, В.А., Лесник, О.М. (2021). *Лісотаксаційний довідник*. Київ: Видавничий дім «Вініченко». 424 с.] (In Ukrainian)
- Bilous, Z.P., Vainahyi, I.V., Holubets, M.A., Kovalenko, A.P., & Malinovsky, K.A. (1975). *Biological productivity of spruce forests in the Carpathians*. Kyiv: Naukova Dumka. [Білоус, З.П., Вайнагий, І.В., Голубець, М.А., Коваленко, А.П., Малиновський, К.А. (1975). *Біологічна продуктивність смерекових лісів Карпат*. Київ: Наукова думка. 240 с.] (in Ukrainian)
- Blyshchyk, I.V. (2008). *Productivity and aboveground phytomass of alder stands in the Western Polissya of Ukraine* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0408U000925> [Блищик, І.В. (2008). Продуктивність та надземна фітомаса вільхи клейкої у деревостанах Західного Полісся України (дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Blyshchyk, I.V. (2008). *Productivity and aboveground phytomass of black alder in stands of the Western*

- Polissya of Ukraine* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0408U000925> [Блищик, І.В. (2008). Продуктивність та надземна фітомаса вільхи клейкої у деревостанах Західного Полісся України (автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Cao, X., Wu, Y., Wu, X., Zheng, X., Wang, Y., Ren, W., Li, Y., & Zhou, H. (2019). An expanded allometric model for crowns of four co-existing desert shrubs. *Trees*, 33, 1423-1433. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01869-8>
- Diéguez-Aranda, U., Crecente-Campo, F., Castedo-Dorado, F., Gómez-García, E., & Álvarez-González, J. (2013). Development of crown profile models for *Pinus pinaster* Ait. and *Pinus sylvestris* L. in northwestern Spain. *Forestry*, 86, 481-491. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpt019>
- Holubets, M.A., & Polovnikov, L.I. (1975). *General patterns of phytomass accumulation in spruce forests*. In: *Biological productivity of spruce forests in the Carpathians*. Kyiv: Naukova Dumka. [Голубець, М.А., Половніков, Л.І. (1975). Загальні закономірності нагромадження фітомаси в смерекових лісах. Біологічна продуктивність смерекових лісів Карпат. Київ: Наукова думка.] (in Ukrainian)
- Kellomäki, S., & Strandman, H. (1995). A model for the structural growth of young Scots pine crowns based on light interception by shoots. *Ecological Modelling*, 80(2-3), 237-250. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(94\)00065-P](https://doi.org/10.1016/0304-3800(94)00065-P)
- Kolosok, O.M. (2002). *Productivity and structure of phytomass in artificial Norway spruce stands in the Ukrainian Carpathians* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Kyiv. 20 p. Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0403U000083> [Колосок, О.М. (2002). Продуктивність і структура фітомаси штучних лісостанів ялини звичайної в Українських Карпатах (автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I. (2002). *Phytomass of forests of Ukraine*. Ternopil: Zbruch. ISBN 966-528-160-7 [Лакида, П.І. (2002). Фітомаса лісів України. Тернопіль: Збруч. 256 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., & Moroziuk, O.V. (2011). *Forests of Cherkasy region: bioproductivity and dynamics*. Korsun-Shevchenkivskyi: V.M. Havryshenko. ISBN 978-966-2464-08-5 [Лакида, П.І., Морозюк, О.В. (2011). Ліси Черкащини: біопродуктивність і динаміка. Корсунь-Шевченківський: ФОП Гаврищенко В.М. 222 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., & Shamrai, A. Ye. (2013). Aboveground phytomass and deposited carbon of Scots pine trees in artificial stands of the Cherkasy Forest. *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, 23(1), 10-13. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_1/8_Lak.pdf [Лакида, П.І., Шамрай, А.Є. (2013). Надземна фітомаса та депонований вуглець дерев сосни звичайної у штучних деревостанах Черкаського бору. Науковий вісник НЛТУ України, 23(1), 10-13.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., Bilous, A.M., & Vasylyshyn, R.D. (2010). *Aspen stands of the Eastern Polissya of Ukraine – aboveground phytomass and deposited carbon*. Korsun-Shevchenkivskyi: I.S. Maidachenko. <https://dnsgb.com.ua/novini/novi-nadhodzhennya/2013/listopad/lakida-petro-ivanovich.osichniki-shidno-go-polissya-ukraini-nadzemna-fitomasa-ta-deponovaniy-vuglec-tekst-monografiya-p.-i.-lakida-a.-m.-bilous-r.-d.-vasilishin.-korsun-shevchenkivskij-fop-majdachenko-i.-s.-2010.-256-s/> [Лакида, П.І., Білоус, А.М., Василичин, Р.Д. (2010). Осичники Східного Полісся України – надземна фітомаса та депонований вуглець. Корсунь-Шевченківський: ФОП Майдаченко І.С. 255 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., Matushevych, L.M., & Blyshchuk, V.I. (2012). Methodological aspects of assessment of biotic productivity of tree crown components. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series "Forestry and Ornamental Gardening"*, 171(2), 54-60. <https://newlibrary.snau.edu.ua/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=108447> [Лакида, П.І., Матушевич, Л.М., Блищик, В.І. (2012). Методологічні особливості оцінки біотичної продукції компонентів крони дерев. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Лісівництво та декоративне садівництво», 171(2), 54-60] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., Vasylyshyn, R.D., Lashchenko, A.H., & Terentiev, A. Yu. (2011). *Reference Book of Standards for the Assessment of Aboveground Phytomass Components of Trees of Main Forest-Forming Species of Ukraine*. Kyiv: Vydavnychiy dim "EKO-inform". 192 p. ISBN 978-966-97171-1-5 [Лакида, П.І., Василичин, Р.Д., Лашченко, А.Г., Терентьев, А.Ю. (2011). Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України. Довідник. Київ: Видавничий дім «ЕКО-інформ». 192 с.] (in Ukrainian)
- Lisitsyn, V., Novikov, A., & Novikova, T. (2024). Growth dynamics of *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* (L.) H. Karst., and *Pinus sibirica* Du Tour coniferous stands: modified model. *Forestry Engineering Journal*, 2, 54-69. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/4>
- Mäkelä, A., & Vanninen, P. (1998). Impacts of size and competition on tree form and distribution of aboveground biomass in Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 28, 216-227. <https://doi.org/10.1139/x97-199>
- Matushevych, L.M. (2021). *Primary production of stands of main forest-forming tree species of the*

- Eastern Polissya of Ukraine (methodology, information support, dynamics)* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0521U101823> [Марусевич, Л. М. (2021). Первинна продукція деревостанів головних лісотвірних порід Східного Полісся України (методологія, інформаційне забезпечення, динаміка) (дис. ... док. с.-г. наук: 06.03.02). Київ: Національний університет біоресурсів і природокористування.] (in Ukrainian)
- Moroz, V.V., & Nykytiuk, Yu.A. (2021). Current condition of pine stands in Kyiv Polissia under influence of ecological factors. *Reclamation and Water Management*, 2(114), 139-149. <https://doi.org/10.31073/mivg202102-302> [Мороз, В.В., Никитюк, Ю.А. (2021). Сучасний стан соснових насаджень Київського Полісся за впливу екологічних чинників. *Меліорація і водне господарство*, 2(114), 139-149] (in Ukrainian)
- Moroz, V.V., Nykytiuk, Y.A., Nykytiuk, P.A., Kliuchevych, M.M., & Komorna, O.M. (2020). Carbon absorption ability of pine forest plantations in the Ukrainian Polissya. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(2), 249-255. <https://www.ujecology.com/articles/carbon-absorption-ability-of-pine-forest-plantations-in-the-ukrainian-polissya.pdf>
- Moroz, V., & Nykytiuk, Y. (2020). Carbon absorption ability of pine forest plantations in Volyn Polissya. *Scientific Horizons*, 23(1), 61-70. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-86-1-61-70>
- Moroz, V., & Nykytiuk, Y. (2021). Current state of pineries in Zhytomyr Polissia under the influence of environmental factors. *Scientific Horizons*, 24(8), 37-46. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(8\).2021.37-46](https://doi.org/10.48077/scihor.24(8).2021.37-46)
- Myakushko, V.K. (1972). Primary biological productivity of pine forests in the Ukrainian Polissya. *Ukrainian Botanical Journal*, 29(3), 328-339. [Мякушко, В.К. (1972). Первинна біологічна продуктивність соснових лісів Українського Полісся. *Український ботанічний журнал*, 29(3), 328-339.] (in Ukrainian)
- Myklush, S.I. (2011). *Plain beech forests of Ukraine: productivity and sustainable management organization*. Lviv: ZUKTs. 259 p. ISBN 978-966-1518-73-4 [Миклуш, С.І. (2011). *Рівнинні букові ліси України: продуктивність та організація сталого господарства*. Львів: ЗУКЦ. 259 с.] (in Ukrainian)
- Pasternak, V.P. (2011). *Bioproductivity of forests in the North-East of Ukraine in the context of changes* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0511U000493> [Пастернак, В.П. (2011). Біопродуктивність лісів Північного Сходу України в контексті змін (автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Petrenko, M.M. (2002). *Dynamics of phytomass and deposited carbon in artificial pine plantations of the Ukrainian Polissya* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Kyiv. 17 p. Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0403U000082> [Петренко, М.М. (2002). Динаміка фітомаси та депонованого вуглецю в штучних насадженнях сосни Полісся України (автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Polovnikov, L.I. (1970). Age dynamics of the components of biological productivity of phytomass in spruce communities of Chornohora. *Ukrainian Botanical Journal*, 27(5), 619-624. [Половніков, Л.І. (1970). Вікова динаміка складників біологічної продуктивності фітомаси ялинових ценозів Чорногори. *Український ботанічний журнал*, 27(5), 619-624] (in Ukrainian)
- Sporek, M., & Sporek, K. (2023). Allometric model of crown length for *Pinus sylvestris* L. stands in south-western Poland. *Forests*, 14(9), 1779. <https://doi.org/10.3390/f14091779>
- Sporek, M., Kučerka, M., & Sporek, K. (2025). Verification of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) crown length model. *Applied Sciences*, 15(6), 3124 <https://doi.org/10.3390/app15063124>
- Tsurik, Ye.I. (2006). *Mensuration of a tree and its parts*. Lviv: Ukrainian National Forestry University. [Цурик, Є.І. (2006). *Таксація дерева та його частин*. Львів: НЛТУ України. 328 с.] (in Ukrainian)
- Varo-Martínez, M., & Navarro-Cerrillo, R.M. (2021). Assessing tree health by canopy biophysical traits: detecting crown decline in pine forests. *Forest Ecology and Management*, 479, 118622. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118622>
- Vasylyshyn, R.D. (2007). *Productivity and above-ground phytomass of silver fir forest stands in the Ukrainian Carpathians* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0407U003855> [Василишин, Р.Д. (2007). Продуктивність та надземна фітомаса лісостанів ялиці білої в Українських Карпатах (дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Vasylyshyn, R.D. (2014). *Productivity and ecological-energy potential of forests in the Ukrainian Carpathians* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0514U000417> [Василишин, Р.Д. (2014). Продуктивність та еколого-енергетичний потенціал лісів Українських Карпат (дис. ... д-ра с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Vasylyshyn, R., Lakyda, I., Melnyk, O., Lakyda, M., & Rymarenko, Y. (2021). Organic carbon in the

plant biomass of forests in Kyiv region. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 12(3), 63-71. <https://doi.org/10.31548/forest2021.03.005>

Yang, X., Zhang, Z., Chen, H., Liu, P., Wang, Q., Ai, X., Wang, Y., & Tang, W. (2025). Biomass allocation, carbon content change and carbon stock distribution of Scots pine (*Pinus sylvestris* var. *mongholica*) plantation forests at different stand ages and densities in the sandy area of western Liaoning Province, China. *PeerJ*, 13, 19232. <https://doi.org/10.7717/peerj.19232>

Allometric Models of Crown Biomass of *Pinus sylvestris* L. Based on Tree Biometric Parameters¹

V. Moroz², H. Krynytskyy³

This study focuses on the development of allometric models for accurate estimation of crown biomass of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) based on tree biometric parameters in the Ukrainian Polissia region. The relevance of this paper arises from the need to improve methods for predicting forest ecosystem productivity, which is crucial for forest inventory, carbon balance monitoring, and assessing forest resilience to climate change.

Fieldwork was conducted from 2016 to 2021 on 285 temporary sample plots across three forest management districts within Ukrainian Polissia. Forty sample trees, aged 24-122 years, with diameters ranging from 9.0 to 29.8 cm and heights from 12.3 to 30.7 m, were selected. For each tree, the mass of

branches, needles, and green biomass was determined through field weighing, followed by laboratory determination of moisture content and calculation of oven-dry biomass. The stem biomass was assessed using stereometric methods and reference tables. The statistical analysis included correlation and regression analyses, as well as calculation of key sample statistics.

It was established that oven-dry crown biomass is significantly dependent on tree age, diameter at breast height (DBH), total height, and stem biomass. The mean oven-dry mass of branches was 13.2 kg, and that of needles and green biomass was 26.1 kg, which indicates the predominance of these components in crown structure. Minimum and maximum values for branch biomass ranged from 1.10 to 20.9 kg, and for needles and green biomass – from 6.70 to 37.1 kg. Coefficients of variation for branches and needles with green biomass were 46.1% and 39.8%, respectively, indicating substantial variability among trees of different ages and sizes. Negative values of skewness and kurtosis coefficients for biomass distributions indicate a prevalence of trees with lower crown mass and a flatter-than-normal distribution. High correlation coefficients ($r = 0.879-0.990$) were found between age, DBH, height, and crown biomass, confirming strong interdependence among these variables. Allometric equations for estimating branch, needle, and green biomass were developed, demonstrating high explanatory power ($R^2 = 0.93-0.98$). The proposed equations for stem volume estimation showed minimal deviation from reference tables (up to 0.03%), confirming their practical applicability. The basic density of phytomass fractions was found to correspond to normative values for the region. It was summarized that DBH and height are the most informative predictors of crown biomass, and the developed models can be effectively used to improve the accuracy of forest inventory and productivity monitoring in Scots pine stands.

In conclusion, the practical applicability of the developed allometric models for assessing the productivity of Scots pine forests in Ukrainian Polissia is substantiated. Future research should focus on refining these models by incorporating ecological variables and remote sensing data to enhance the accuracy of crown biomass prediction at the regional scale.

Key words: aboveground productivity; diameter at breast height; tree height; stem volume; power equations; correlation; sample trees.

¹ The work was supported by a grant from the National Research Foundation of Ukraine, No. 2021.01/0184

² *Vira Moroz* – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor at the Department of Agrobiotechnology, Director of the Educational and Scientific Center for Sustainable Energy Development and Climate Security. West Ukrainian National University, 11 Lvivska st., Ternopil, 46000, Ukraine. E-mail: vera_moroz@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1457-4641>

³ *Hryhoriy Krynytskyy* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, President of FAS of Ukraine, doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Forestry at Ukrainian National Forestry University. 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: krynytsk@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7020-9991>