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/10.15421/411934>
Article received 2019.04.18
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Svitlana Sytnyk
sytnyk.s.a@dsau.dp.ua

Serhii Efremov st., 25, Dnipro, 49600, Ukraine

УДК 633.875;630*22/.23(292.486)(477)

Продукція фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів у лісових культурах Північного Степу України

П. І. Лакида¹, С. А. Ситник²

Поточний об'ємний приріст деревини стовбурів і продукція компонентів фітомаси надземної частини насаджень Robinia pseudoacacia L. визначено для модальних деревостанів, які характеризуються такими таксаційними показниками: $A = 3-82$ р., $D_{1,3} = 3,9-24,8$ см, $H = 5,2-21,5$ м, $P = 0,1-1,15$.

Як вхідні аргументи регресійних рівнянь використано таксаційні показники робінієвих деревостанів. Розраховані регресійні алометричні моделі оцінювання фітомаси деревини і кори стовбурів, фітомаси компонентів крони – деревини і кори гілок, фітомаси листків, поточного об'ємного приросту за запасом. Коефіцієнти детермінації рівнянь (0,24-0,96) не перевищують їх критичного значення. Найбільш значущою визначено п'ятифакторну модель, яка враховує вік, середній діаметр, середню висоту головної породи, запас і відносну повноту насадження.

Розрахунок продукції деревини стовбурів робінієвих насаджень здійснено через оцінювання поточного приросту за запасом і середньої базисної щільності деревини стовбурів робінії, яка становить $499,8 \text{ кг (м}^3\text{)}^{-1}$. Наведено нормативи продукції стовбурової деревини у межах значень середнього діаметра деревостану від 4 до 28 см і запасу стовбурової деревини від 20 до $180 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

Продукція стовбурової деревини зі збільшенням середнього діаметра деревостану зменшується, а зі збільшенням запасу за умови однакового значення діаметра – збільшується. У віковій структурі робінієвих насаджень Північного Степу домінує група перестиглих деревостанів, для яких у діапазоні середніх діаметрів 14-24 см продукція стовбурової деревини становить $1,73-2,69 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$.

Загальну продукцію фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів лісгосподарських підприємств Державного агентства лісових ресурсів України у Дніпропетровській області оцінено в $138,3$ тис. т·рік⁻¹.

Ключові слова: Robinia pseudoacacia L.; надземна фітомаса; поточний приріст; математичне моделювання; алометричні регресійні моделі.

¹ Лакида Петро Іванович – академік Лісівничої академії наук України, професор, доктор сільськогосподарських наук, директор навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства НУБіП України. Національний університет біоресурсів та природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна. Тел.: (044) 527-85-28, +38-067-462-80-43. E-mail: lakyda@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3639-2969>

² Ситник Світлана Анатоліївна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри садово-паркового господарства. Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, 49060, Україна. Тел.: +38-093-015-46-10. E-mail: sytnyk.s.a@dsau.dp.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7646-6347>

Вступ. Розвиток держави потребує розроблення економічно ефективної та екологічно безпечної моделі користування природними ресурсами, за умови унеможливлення загрози асиміляційному потенціалу природних і штучних ландшафтів. Дослідження біотичної продуктивності насаджень лісотвірних деревних видів дають змогу оцінювати потенційні можливості ландшафтів виконувати роль стабілізаторів довкілля.

Приріст фітомаси деревних порід – біологічне явище, що визначає зміну кількісних показників компонентів стовбура і крони з віком і відбувається внаслідок біологічних процесів фотосинтезу, дихання, водообігу та обміну речовин і енергії. Приріст забезпечується діяльністю камбіального шару стовбура і гілок дерев, яка відбувається протягом вегетаційного періоду: меристематичні клітини формують новий шар деревини. Збільшення з часом маси деревини у дереві або в насадженні безпосередньо залежить від зміни величини діаметрів стовбурів і висот. Також інтенсивність приросту лісового насадження залежить від віку, відносної повноти, типу походження деревостану, едафокліматичних та лісорослинних умов, зімкненості і складу деревостану, фітосанітарного стану насадження та лісогосподарських заходів тощо.

Збільшення фітомаси, яка залежить від біотичної продуктивності лісостанів, зумовлює інтенсивне депонування двоокису вуглецю у біомасу лісових фітоценозів, що є одним із дієвих механізмів запобігання змінам клімату. Роботами вчених переконливо доведено ефективність депонування вуглецю деревними породами лісостанів у різних природних зонах – Українських Карпатах, Поліссі, Лісостепу та Степу (Lakyda, 2002, Lakyda & Blyshchik, 2010, Lakyda, Vasylyshyn, Lashchenko, & Terentiev, 2011, Sytnyk & Lovynska, 2016).

Загальноприйнята в Україні концепція збільшення обсягів депонування вуглецю передбачає збільшення площі лісів та їхньої продуктивності. Серед екосистем степової зони України, лісові, незважаючи на їх штучне походження, можуть конкурувати з природними степовими у площині їхньої біотичної продуктивності. Збільшення обсягу депонованого вуглецю та аерополітантів можливий за умови більшого приросту фітомаси на одиниці площі. Згідно з даними публічного звіту Державного агентства лісових ресурсів України, за рік у лісах держави в середньому приростає 35 млн м³ деревини. Середньорічний приріст деревини на 1 га у лісах Держлісагентства становить 3,9 м³ на 1 га і коливається від 5,0 в Карпатах до 2,5 м³ у степовій зоні.

Одним із найпоширеніших компонентів лісових культур Степу України є робінія псевдоакація або біла акація (*Robinia pseudoacacia* L.) – інтродуцент із Північної Америки. Історія інтродукції цього виду в Європу нараховує понад 200 років (Khedive, Shirvany, Assareh, & Sharkey, 2017, Kroftova, & Reif, 2017, Vítková et al., 2017). Для робінії характерним є значний господарчий потенціал (Yang et al., 2017,

Capozzi et al., 2017, Ni et al., 2018). Завдяки швидкому росту і здатності фіксувати атмосферний азот робінію псевдоакацію вважають перспективним деревним видом для створення лісонасаджень на трансформованих ерозією ландшафтах (Yan, Zhong, & Shangguan, 2017, Qin et al., 2018). Масштабні дослідження морфологічних, фізіологічних, екологічних, стехіометричних властивостей *Robinia pseudoacacia* здійснюють у Китаї на еродованому Лесовому Плато (Mao et al., 2018, Chen, et al., 2018, Liang et al., 2018, Liu et al., 2018).

З огляду на досить різноспрямовані погляди вчених на штучні насадження цього деревного виду поза межами природного ареалу зазначимо, що доцільність функціонування робінієвих насаджень у степовій зоні України доведено реалізованим ремедіаційним потенціалом захисних протиерозійних та рекультиваційних насаджень білої акації на антропогенно змінених землях, трансформованих видобутком корисних копалин відкритим способом (Zverkovsky et al., 2018).

У межах Північного Степу, у підпорядкуванні Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства перебуває 19683,7 га робінієвих деревостанів різного функціонального призначення (Lakyda & Sytnyk, 2014). Реалізацію екосистемних сервісів лісових насаджень, зокрема і робінієвих, неможливо оцінювати без визначення біотичної продуктивності за компонентами фітомаси та встановлення закономірностей ростових процесів дерев і деревостанів у певних природно-кліматичних зонах. Проте поточний приріст є одним із тих показників, який окреслює специфіку формування деревини та біотичну продуктивність лісів загалом. Інтенсивність поточного приросту детермінують генетичні властивості деревної лісотвірної породи, погоднокліматичні чинники, своєчасність та якість здійснення лісогосподарських заходів.

Визначення величини поточного приросту лісових насаджень має сприяти вирішенню низки теоретичних і практичних завдань: визначенню біотичної продуктивності лісів; оцінюванню ефективності лісогосподарських заходів та господарського режиму; виявлення збитків від ентомошкідників та фітопатогенів. Проте результати досліджень, спрямовані на оцінювання надземної фітомаси та визначення поточного приросту робінії псевдоакації, як лісотвірного деревного виду, у наукових публікаціях зарубіжних і вітчизняних вчених не зазначені.

Дослідження зі встановлення екологічного потенціалу робінієвих насаджень у Північному Степу України є дуже актуальними, що є необхідною передумовою для здійснення ефективного менеджменту лісового господарства, розроблення плану лісогосподарських заходів, визначення обсягів лісокористування, розрахунку інтенсивності акумулювання аеро- та едафоконтамінантів та емісії кисню в атмосферу.

Матеріали й методи. Біотична продукція – це продукція, яка утворюється у надземній та підзем-

ній складових лісового біоценозу в процесі фотосинтезу за одиницю часу на одиниці площі. У лісовій таксації біотична продукція ідентифікується з поточним приростом фітомаси. Поточний приріст – це величина, на яку змінюється абсолютні значення таксаційних показників дерева чи деревостану за певний проміжок часу.

Об'єкт дослідження – надземна фітомаса деревостанів за участю *Robinia pseudoacacia* L. *Предмет досліджень* – процеси нагромадження продукції у надземній частині робінієвих деревостанів та їх моделювання. Дослідження поточного приросту фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів здійснювали впродовж 2014-2019 років.

Мета дослідження – розробити алгоритм розрахунку поточного приросту структурних компо-

нентів фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів Північного Степу України, розробити математичні моделі для кількісного оцінювання компонентів фітомаси деревостанів, опрацювати нормативи оцінювання продукції стовбурової деревини та оцінити сумарну продукцію надземної частини насаджень робінії псевдоакації лісогосподарських підприємств Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства.

Експериментальні дані отримано з 20 тимчасових пробних площ, що були закладені у період 2013-2017 рр. у робінієвих насадженнях Північного Степу України (у межах Дніпропетровської області). Таксаційну характеристику досліджуваних насаджень наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Таксаційна характеристика робінієвих деревостанів на тимчасових пробних площах

Шифр ТПП	Вік, років	Діаметр стовбура, см	Висота, м	Відносна повнота	Запас, м ³ ·га ⁻¹
04241401*	32	12,2	12,5	0,55	80
04241402	63	16,4	15,3	1,15	291
04241403	12	5,7	5,7	0,10	6
04241404	36	22,4	21,1	1,04	247
04241405	3	3,9	5,2	0,22	2
04241501	48	23,9	19,9	0,73	235
04241502	58	26,0	20,0	0,80	237
04241503	82	24,4	21,5	0,74	225
04241504	77	24,8	16,1	0,71	154
04241505	56	16,2	17,0	0,83	220
04241506	47	16,4	14,6	0,78	155
04241507	50	24,7	20,2	0,91	237
04241601	43	18,6	17,4	1,07	269
04241602	34	15,8	16,2	0,74	183
04241603	33	15,2	13,2	0,20	106

*04 – Дніпропетровська область; 24 – робінія псевдоакація; 14 – рік закладання ТПП; 01 – номер площі за порядком.

Для розрахунку експериментальних даних використовували програмне забезпечення Statistica 12 та програму PERTA. У процесі виконання роботи використано такі умовні позначення: *A* – середній вік деревостану, роки; *D* – середній діаметр деревостану на висоті 1,3 м, см; *H* – середня висота деревостану, м; *P* – відносна повнота деревостану; *M* – запас стовбурової деревини, м³·га⁻¹; *ZdcmM* – поточний приріст деревини за запасом деревостану, м³·га⁻¹·рік⁻¹; *Zkcm* – поточний приріст кори деревостану, т·га⁻¹·рік⁻¹; *Zdg* – поточний приріст деревини гілок, т·га⁻¹·рік⁻¹; *Zkg* – поточний приріст кори гілок,

т·га⁻¹·рік⁻¹; *BZdcmM* – частка поточного приросту деревини за запасом, %; *Pdcm* – продукція стовбурової деревини, т·га⁻¹·рік⁻¹; *Ddcmбаз* – середня базисна щільність деревини стовбурів, кг·(м³)⁻¹; *Dkcmбаз* – середня базисна щільність кори стовбурів, кг·(м³)⁻¹; *Ddgбаз* – середня базисна щільність деревини гілок, кг·(м³)⁻¹; *Dkgбаз* – середня базисна щільність кори гілок, кг·(м³)⁻¹; *Sl* – вміст абсолютно сухої речовини у листках; *Phkcm* – фітомаса кори стовбурів деревостану, т·га⁻¹; *Phdg* – фітомаса деревини гілок, т·га⁻¹; *Phkg* – фітомаса кори гілок, т·га⁻¹; *Phl* – фітомаса листя, т·га⁻¹.

Результати та обговорення. Для виявлення закономірностей розподілу значень досліджуваних характеристик насаджень, забезпечення адекватності й точності математичних моделей оцінювання параметрів фракцій фітомаси робінієвих деревостанів Північного Степу України проводили статистичний аналіз (табл. 2).

Для вибірки об'ємом 20 одиниць критичне значення показника косості (асиметрії) дорівнює 0,711 ($p \leq 0,05$), крутості (ексцесу) – 0,907 ($p \leq 0,01$) (Yantsev, 2012). Сукупності даних модальних деревостанів у натуральних величинах: поточний при-

ріст за запасом, запас стовбурової деревини, середній діаметр насадження мають подібність до нормального розподілу.

Незначно перевищує критичне значення показник косості для середньої висоти насадження та показник крутості для відносної повноти насадження. Усі досліджувані показники характеризуються від'ємною асиметрією, що свідчить про зсув кривої розподілу ліворуч. Переважає від'ємний ексцес (за винятком відносної повноти насадження), що демонструє плосковершинність кривих розподілу.

Таблиця 2

Основні статистики розподілу таксаційних показників робінієвих деревостанів і поточного об'ємного приросту деревини за запасом

Ознака деревостану	Значення		Статистики			
	<i>min</i>	<i>max</i>	$\bar{x}$	стандартне відхилення	асиметрія	ексцес
$Z_{\text{дст}M}$, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}$	0,23	9,99	5,77	2,80	-0,195	-0,359
<i>A</i> , років	3,00	82,0	43,8	22,33	-0,183	-0,629
<i>D</i> , см	3,90	26,00	16,97	6,94	-0,606	-0,699
<i>H</i> , м	5,20	21,50	14,78	5,34	-0,769	-0,490
<i>P</i>	0,10	1,45	0,747	0,31	-0,350	1,349
<i>M</i> , $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$	2,00	291,00	165,55	91,94	-0,699	-0,833

За даними кореляційного аналізу встановлено, що поточний приріст за запасом має достовірний прямий помірний зв'язок з відносною повнотою та запасом стовбурової деревини, з яких найтісніший з відносною повнотою ($r = 0,67$), слабкий – з віком, діаметром та висотою, причому для середнього віку цей зв'язок є найслабшим (табл. 3).

Таблиця 3

Кореляційна матриця поточного приросту деревини за запасом з таксаційними ознаками робінієвих деревостанів

Ознака деревостану	$Z_{\text{дст}M}$	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>P</i>	<i>M</i>
$Z_{\text{дст}M}$	1	–	–	–	–	–
<i>A</i>	0,13	1	–	–	–	–
<i>D</i>	0,19	0,84	1	–	–	–
<i>H</i>	0,21	0,79	0,94	1	–	–
<i>P</i>	0,67	0,45	0,44	0,49	1	–
<i>M</i>	0,42	0,76	0,84	0,90	0,72	1

Одним із основних методів дослідження динаміки біометричних показників лісу є регресійний аналіз (Lakyda, 2002). Множинне регресійне моделювання є дієвим методом дослідження складних багатопараметричних систем, до яких належать лісові фітоценози (Usoltsev, 2010).

Оцінювання стовбурової продукції деревостану ідентифікується із поточним проростом за запасом, що визначається у вагових одиницях через базисну щільність цього компонента. Отже, на першому етапі дослідження сумарного поточного приросту фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів здійснено встановлення математичної залежності поточного об'ємного приросту за запасом від біометричних показників модальних деревостанів робінії, як основи біотичної продукції насадження. Враховуючи значення коефіцієнтів детермінації отриманих регресійних моделей та можливість їх практичного використання для розрахунку поточного об'ємного приросту за запасом робінієвих деревостанів Північного Степу України, рекомендовано рівняння, зазначені у табл. 4.

Двофакторні моделі (3), (4) поточного об'ємного приросту стовбурової деревини робінієвих деревостанів за запасом, де аргументами виступали середній вік, діаметр та висота насадження, характеризуються досить низькими коефіцієнтами детермінації, але значущими на 5%-му рівні. Найвищий коефіцієнт детермінації наявний у моделі (1), де враховано п'ять факторів впливу. Виходячи з аналізу коефіцієнтів детермінації та залишків рівнянь, для подальших розрахунків було обрано двофакторну модель (2) з урахуванням діаметра і запасу, яка описує понад 71 % дисперсії залежної змінної.

У роботі Cherveniy & Tretyak (2010) зазначено, що поточний приріст деревини з віком у деревостанах спочатку зростає, а потім, досягнувши максимуму, зменшується. У розрахованих моделях середній вік

насаджень, як аргумент рівняння, має від'ємне значення коефіцієнта, що підтверджує зазначену тезу. Графічну інтерпретацію залежності поточного об'ємного приросту робінієвих деревостанів за запасом від віку насадження наведено на рис. 1.

На наступному етапі дослідження розрахунок продукції стовбурової деревини робінієвих насаджень через оцінювання поточного приросту за за-

пасом з урахуванням середньої базисної щільності деревини робінії здійснене за рівнянням

$$P_{\text{дст}} = Z_{\text{дст}} M \cdot D_{\text{дст}} \text{баз} \quad (5)$$

Попередніми дослідженнями встановлено значення середньої базисної щільності деревини стовбурів робінії псевдоакації, яка становить $499,8 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ (Sytnyk, Lovynska, Lakyda, & Maslikova, 2018).

Таблиця 4

Моделі оцінювання поточного об'ємного приросту стовбурової деревини робінієвих деревостанів

Номер моделі	Вид рівняння	Коефіцієнт детермінації
1	$Z_{\text{дст}} M = 14,050 \cdot A^{-0,554} \cdot D^{-0,143} \cdot H^{-0,757} \cdot P^{0,274} \cdot M^{0,746}$	0,82
2	$Z_{\text{дст}} M = 7,328 \cdot D^{-1,282} \cdot M^{0,683}$	0,71
3	$Z_{\text{дст}} M = 3,431 \cdot D^{0,338} \cdot H^{-0,154}$	0,28
4	$Z_{\text{дст}} M = 3,235 \cdot A^{0,115} \cdot D^{0,059}$	0,26

Рис. 1. Залежність поточного приросту за запасом робінієвих деревостанів від середнього віку насадження

Розраховані нормативи продукції стовбурової деревини робінієвих насаджень можуть бути рекомендовані до використання у деревостанах із середнім діаметром у межах від 4 до 28 см та запасом стовбурової деревини – від 20 до $180 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ за умови модальної відносної повноти 0,9 (табл. 5).

Згідно з наведеними нормативними даними, продукція стовбурової деревини зі збільшенням середнього діаметра деревостану – зменшується, а зі збільшенням запасу за умови сталого діаметру – зростає. У Північному Степу України найбільша площа зайнята насадженнями перестиглої групи віку, для яких у діапазоні середніх діаметрів насадження 14–24 см, продукція стовбурової деревини знаходиться у межах $2,69\text{--}1,73 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$.

Таблиця 5

Продукція стовбурової деревини робінієвих деревостанів, $\text{т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$

Середній діаметр, см	Запас стовбурової деревини, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$									
	20	30	40	60	80	90	110	130	150	180
Повнота 0,9										
4	4,79									
6	2,85	3,76								
8	1,97	2,60	3,16							
10		1,95	2,38	3,14						
12		1,55	1,88	2,48	3,02					
14			1,54	2,04	2,48	2,69				
16				1,72	2,09	2,26	2,60			
18					1,80	1,95	2,23	2,50		
20						1,70	1,95	2,19	2,41	
22							1,73	1,93	2,13	2,42
24								1,73	1,91	2,16
26									1,72	1,95
28									1,57	1,77

Надалі для оцінювання загального поточного приросту надземної фітомаси робінієвих насаджень було здійснено розрахунок поточного проросту компонентів фітомаси (кора стовбурів, деревина і кора гілок, фітомаса листя). Тому для визначення поточного приросту здійснено моделювання фітомаси компонентів надземної части-

ни деревостану з основними таксаційними показниками насадження, результати якого наведено в табл. 6.

Для подальшого розрахунку поточного приросту надземної частини робінієвих деревостанів здійснено моделювання частки (відсотка) поточного приросту деревини за запасом (табл. 7).

Таблиця 6

Моделі оцінювання фітомаси компонентів надземної частини деревостанів *Robinia pseudoacacia* L.

Номер моделі	Вид рівняння	Коефіцієнт детермінації
Фітомаса кори стовбурів		
6	$Ph_{kcm} = 0,114 \cdot A^{-0,227} \cdot D^{0,249} \cdot H^{0,080} \cdot P^{-0,099} \cdot M^{0,915}$	0,96
7	$Ph_{kcm} = 0,114 \cdot D^{0,062} \cdot H^{0,297} \cdot M^{0,740}$	0,95
8	$Ph_{kcm} = 0,080 \cdot H^{0,288} \cdot P^{-0,097} \cdot M^{0,842}$	0,94
9	$Ph_{kcm} = 0,542 \cdot H^{1,224} \cdot P^{0,431}$	0,92
10	$Ph_{kcm} = 0,707 \cdot A^{-0,121} \cdot D^{1,198}$	0,85
11	$Ph_{kcm} = 0,264 \cdot D^{-0,029} \cdot H^{2,474}$	0,74
Фітомаса деревини гілок		
12	$Ph_{dg} = 0,071 \cdot A^{0,053} \cdot D^{-0,730} \cdot H^{0,368} \cdot P^{-0,417} \cdot M^{0,915}$	0,69
13	$Ph_{dg} = 0,416 \cdot D^{-0,765} \cdot H^{1,987}$	0,62
14	$Ph_{dg} = 2,564 \cdot D^{0,554} \cdot P^{0,531}$	0,57
15	$Ph_{dg} = 0,409 \cdot A^{-0,131} \cdot M^{0,737}$	0,57
Фітомаса кори гілок		
16	$Ph_{kg} = 0,022 \cdot A^{-0,049} \cdot D^{-3,070} \cdot H^{6,997} \cdot P^{1,627} \cdot M^{-0,910}$	0,82
17	$Ph_{kg} = 0,0003 \cdot D^{-3,389} \cdot H^{6,966} \cdot P^{1,107}$	0,80
18	$Ph_{kg} = 0,0008 \cdot D^{-3,338} \cdot H^{6,621}$	0,77
19	$Ph_{kg} = 0,129 \cdot A^{-0,852} \cdot M^{1,353}$	0,66
Фітомаса листя		
20	$Ph_l = 1,293 \cdot A^{-0,098} \cdot D^{-0,895} \cdot H^{2,302} \cdot P^{0,405} \cdot M^{-0,476}$	0,67
21	$Ph_l = 1,584 \cdot D^{-1,799} \cdot H^{2,121}$	0,64
22	$Ph_l = 5,163 \cdot A^{-0,390} \cdot M^{0,188}$	0,24
23	$Ph_l = 3,735 \cdot D^{-0,047} \cdot P^{0,113}$	0,24

Таблиця 7

Частка поточного приросту деревини за запасом, %

Номер моделі	Вид рівняння	Коефіцієнт детермінації
24	$BZ_{dcm} = 12,308 \cdot A^{-0,940} \cdot D^{-0,591} \cdot H^{2,118} \cdot P^{0,050} \cdot M^{-0,346}$	0,98
25	$BZ_{dcm} = 15,337 \cdot D^{-6,053} \cdot H^{5,671}$	0,96
26	$BZ_{dcm} = 48,009 \cdot A^{-1,800} \cdot D^{-1,433}$	0,97

Використовуючи вихідні дані – таксаційні характеристики робінієвих лісостанів та опрацьовані математичні моделі поточного приросту деревостану за запасом, його відсотка та інших компонентів надземної фітомаси, розроблено алгоритм розрахунку узагальненого поточного приросту надземної фітомаси деревостану (рис. 2).

При цьому, за відсутності досліджень поточного приросту таких компонентів фітомаси деревостанів, як кора стовбура і кора гілок крони – було прийнято узагальнення, що ці компоненти фітомаси мають поточний приріст, пропорційний відсотку поточного приросту стовбурової деревини деревостану за запасом.

Рис. 2. Блок-схема розрахунку загального поточного приросту надземної фітомаси деревостанів *Robinia pseudacacia*

Враховуючи значення коефіцієнтів детермінації, коефіцієнтів регресії залишків рівнянь, для розрахунку обрано і використано адекватні моделі (2), (7), (15), (17), (21) і (25), які було використано для розрахунку поточного приросту надземної частини робінієвих деревостанів за даними повиділь-

ної бази ВО «Укрдержліспроект» для насаджень лісогосподарських підприємств, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів України у межах Дніпропетровської області.

Враховуючи базисну щільність досліджуваних компонентів фітомаси та вміст абсолютно сухої речовини у листках робінії, розраховано річну продукцію надземної фітомаси деревостанів регіону досліджень. Загалом було розраховано дані з 4772 таксаційних виділів дев'яти держлісгоспів і природного заповідника «Орільсько-Дніпровський» на площі 19683,7 га (табл. 8, рис. 3).

Рис. 3. Загальна продукція фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів лісогосподарських підприємств Дніпропетровської області

Загальну продукцію фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів у Дніпропетровській області оцінено у 138308,4 т·рік⁻¹: найбільші значення досліджуваного параметра зафіксовано у Верхньодніпровському та Дніпропетровському держлісгоспах – 60889,9 та 23459,3 т·рік⁻¹ відповідно.

Таблиця 8

Загальна продукція надземної частини робінієвих деревостанів лісогосподарських підприємств Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства

Державне лісове господарство (ДЛГ) / лісництво	Таксаційний виділ, шт.	Площа робінієвих деревостанів, га	Загальна продукція фітомаси надземної частини деревостану, т·рік ⁻¹
1	2	3	4
ДЛГ «Васильківське»	138	558,5	4064,1
Великомихайлівське	45	169,3	1328,6
Межівське	45	233,4	1525,3
Олександрівське	28	73,4	552,2
Покровське	20	82,4	558,0
ДЛГ «Верхньодніпровське»	1906	7095,1	60889,9
Бородаївське	485	1392,8	12795,3
Верхньодніпровське	449	1899,4	17063,8
Лихівське	463	1789,8	14394,3
Мішунірорізьке	385	1626,9	13498,1
П'ятихатське	124	386,2	3207,5
ДЛГ «Дніпродзержинське»	529	2051,3	15572,3

1	2	3	4
Дніпродзержинське	161	668,1	5098,8
Курилівське	50	211,8	1735,4
Миколаївське	73	301,9	2258,1
Радянське	99	405,1	3061,1
Царичанське	94	308,5	2268,1
Шульгівське	52	155,9	1150,8
ДЛГ «Дніпропетровське»	961	3077,7	23459,3
Ленінське	166	708,5	5939,2
Любимівське	248	748,2	5586,5
Петриківське	174	688,9	5355,2
Микільське	373	932,1	6578,4
ДЛГ «Криворізьке»	430	1477,6	11349,9
Дзержинське	108	453,1	3789,6
Криворізьке	147	422,7	3350,1
Софіївське	78	290,7	2095,1
Широківське	101	311,1	2115,1
ДЛГ «Марганецьке»	555	1805,8	11647,1
Апостолівське	152	326,0	2393,9
Марганецьке	205	609,0	3861,3
Нікопольське	198	870,8	5391,9
ДЛГ «Новомосковське»	145	3133,9	8156,8
Котовське	5	7,2	53,70
Кочерезьке	11	32,2	203,51
Новомосковське	23	56,3	448,7
Перещепинське	106	1038,2	7450,9
ДЛГ «Новомосковський військовий»	26	26,9	184,5
Васильківське	6	3,9	33,7
Вільнянське	5	2,3	15,1
Знаменівське	6	15,1	95,2
Красноліське	9	5,6	40,5
ДЛГ «Павлоградське»	50	359,3	2346,7
Павлоградське	28	94,1	563,9
Петропавлівське	21	265,0	1781,7
Юріївське	1	0,2	1,1
Природний заповідник «Дніпровсько-Орільський»	32	97,6	637,8
Всього	4772	19683,7	138308,4

Висновки. У Північному Степу України найбільша площа зайнята насадженнями робінієвих псевдоакації перестиглої групи віку, для яких у діапазоні середніх діаметрів 14-24 см продукція стовбурової деревини знаходиться у межах 1,73-2,69 т·га⁻¹·рік⁻¹. Максимальний поточний об'ємний приріст стовбурової деревини (9,99 м³·га⁻¹·рік⁻¹) зафіксовано в деревостанах робінії віком 43-53 роки. Загальну про-

дукцію надземної частини робінієвих деревостанів лісгосподарських підприємств Дніпропетровського обласного управління лісового і мисливського господарства оцінено в 138308,4 т·га⁻¹·рік⁻¹.

Розраховані нормативи оцінювання продукції стовбурової деревини робінієвих деревостанів, фітомаси деревини і кори стовбура, фітомаси деревини і кори гілок, фітомаси листків та їхнього поточ-

ного приросту пропонуються для практичного використання лісгосподарськими підприємствами.

References

- Capozzi, F., Di Palma, A., Adamo, P., Spagnuolo, V., & Giordano, S. (2017). Monitoring chronic and acute PAH atmospheric pollution using transplants of the moss *Hypnum cupressiforme* and *Robinia pseudoacacia* leaves. *Atmospheric Environment*, 150, 45-54. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.11.046>
- Chen, L., Deng, Q., Yuan, Z., Mu, X., & Kallenbach, R. (2018). Age-related C:N:P stoichiometry in two plantation forests in the Loess Plateau of China. *Ecological Engineering*, 120, 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.021>
- Chernevyi Yu.I., & Tretyak (2010). Growth of old-fashioned woodlands and its ecological significance. *The Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 20.9, 70-77. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2010/20_9/index.htm (in Ukrainian).
- Khedive, E., Shirvany, A., Assareh, M., & Sharkey, T. (2017). In situ emission of BVOCs by three urban woody species. *Urban Forestry and Urban Greening*, 21, 153-157. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.018>
- Kroftová, M., & Reif, J. (2017). Management implications of bird responses to variation in non-native/native tree ratios within central European forest stands. *Forest Ecology and Management*, 391, 330-337. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.034>
- Lakyda, P.I. (2002). *Fitomasa lisiv Ukrainy*. Ternopil: Zbruch (in Ukrainian).
- Lakyda, P.I., & Blyshchik, I.V. (2010). *Phytomass alders of Western Polissya of Ukraine*. Korsun-Shevchenkivskij: FOP Majdachenko I.S. (in Ukrainian).
- Lakyda, P.I., & Sytnyk, S.A. (2014). Peculiarities of forest inventory structure of black locust stands Steppe in Dnieper Northern of Ukraine. *Forestry & Forest Melioration*, 125, 25-31 (in Ukrainian). <http://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/8>
- Lakyda, P.I., Vasylyshyn R.D., Lashchenko A.H., & Terentiev A. Yu. (2011). *Normative assessment of the components of the aboveground phytomass of trees of the main forest species of Ukraine*. Kyiv: Ekoinform (in Ukrainian).
- Liang, H., Xue, Y., Li, Z., Wang, S., Wu, X., Gao, G., Liu, G., & Fu, B. (2018). Soil moisture decline following the plantation of *Robinia pseudoacacia* forests: Evidence from the Loess Plateau. *Forest Ecology and Management*, 412, 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.01.041>
- Liu, D., Huang, Y., Sun, H., & An, S. (2018). The restoration age of *Robinia pseudoacacia* plantation impacts soil microbial biomass and microbial community structure in the Loess Plateau. *Catena*, 165, 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.02.001>
- Mao, P., Tang, Q., Cao, B., Liu, J., Shao, H., Cao, Z., ... Zhu, Z. (2017). Eco-physiological adaptability in mixtures of *Robinia pseudoacacia* and *Fraxinus velutina* and coastal eco-engineering. *Ecological Engineering*, 106, 109-115. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.05.021>
- Ni, K., Yang, H., Ang, H., Hua, W., Wang, Y., & Pang, H. (2016). Selection and characterisation of lactic acid bacteria isolated from different origins for ensiling *Robinia pseudoacacia* and *Morus alba* L. leaves. *Journal of Integrative Agriculture*, 15, 2353-2362. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61251-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61251-5)
- Prylipko, I.S. (2016). Production of stem wood and bark of birch trees in the stands of Chernigov Polissya. *The Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 26.5, 140-147. <https://doi.org/10.15421/40260521>
- Qin, J., Xi, W., Rahmlow, A., Kong, H., Zhang, Z., & Shangguan, Z. (2016). Effects of forest plantation types on leaf traits of *Ulmus pumila* and *Robinia pseudoacacia* on the Loess Plateau, China. *Ecological Engineering*, 97, 416-425. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.038>
- Sytnyk, S.A., & Lovynska, V.M. (2016). Energy potential of the main forestforming stands within Ukrainian Northern Steppe. *Forestry & Forest Melioration*, 129, 146-153. <http://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/article/view/121> (in Ukrainian).
- Sytnyk, S., Lovynska, V., Lakyda, P., & Maslikova, K. (2018). Basic density and crown parameters of forest forming species within Steppe zone in Ukraine. *Folia oecologia*, 45 (2), 34-47. <https://doi.org/10.2478/foecol-2018-0009>
- Usoltsev, V.A. (2010). *Phytomass and primary production of forests of Eurasia*. Russia, Yekaterinburg: URAN (in Russian).
- Vítková, M., Müllerová, J., Sádlo, J., Pergl, J., & Pyšek, P. (2017). Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 384, 287-302. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.057>
- Yan, W., Zhong, Y., & Shangguan, Z. (2017). Rapid response of the carbon balance strategy in *Robinia pseudoacacia* and *Amorpha fruticosa* to recurrent drought. *Environmental and Experimental Botany*, 138, 46-56. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.03.009>
- Yang, S., Li, G., Zhao, Z., Feng, M., Fu, J., Huang, Z., Song, M., & Lin, S. (2017). The Taishan *Robinia pseudoacacia* polysaccharides enhance immune effects of rabbit haemorrhagic disease virus inactivated vaccines. *Microbial Pathogenesis*, 112, 70-75. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.09.037>
- Yantsev, A.V. (2012). *Selection of statistical criteria*. Crimea, Symferopol: TNU (in Russian).
- Zverkovskyy, V.M., Sytnyk, S.A., Lovynska, V.M., Kharytonov, M.M., Lakyda, I.P., Mykolenko ...

& Gispert, M. (2018). Remediation potential of forest forming tree species within northern steppe reclamation stands. *Ekológia (Bratislava)*, 37 (1), 69-81. <https://doi.org/10.2478/eko-2018-0007>

Продукция фитомассы надземной части робиниевых древостоев в лесных культурах Северной Степи Украины

П. И. Лакида¹, С. А. Сытник²

Экологический потенциал лесных экосистем возможно оценить исключительно на основании знаний их биотической продуктивности. Увеличение надземной фитомассы лесных фитоценозов обуславливает более интенсивное депонирование углекислого газа, что является одним из действенных механизмов предотвращения изменений климата.

Среднегодовой прирост древесины в лесах государственного агентства лесных ресурсов Украины составляет $3,9 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, от $5,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ в Карпатах до $2,5 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ в степной зоне.

Один из наиболее распространенных компонентов искусственных лесных насаждений Северной Степи – робиния псевдоакация. В лесах Днепропетровского областного управления лесного и охотничьего хозяйства данный лесообразующий древесный вид занимает площадь в 19683,7 га.

Текущий объемный прирост древесины стволов и продукция компонентов фитомассы надземной части робиниевых насаждений Украины определены для модальных древостоев, которые характеризуются следующими таксационными показателями: возраст – 3-82 года, диаметр ствола на высоте 1,3 м – 3,9-24,8 см, высота – 5,2-21,5 м, относительная полнота – 0,1-1,15.

В качестве входных аргументов регрессионных уравнений использованы таксационные показатели робиниевых древостоев. Рассчитанные регрессионные аллометрические модели оценивания текущего объемного прироста по запасу, фитомассы древесины и коры стволов, фитомассы компонентов кроны – древесины и коры ветвей, фитомассы листьев имеют коэффициенты детерми-

нации уравнений (0,24-0,96), которые превышают его критическое значение. Наиболее значимой определена пятифакторная модель, которая в качестве аргументов включает возраст, средний диаметр, среднюю высоту главной породы, запас и относительную полноту насаждения.

Расчет продукции древесины стволов робиниевых насаждений осуществлен через оценивание текущего прироста по запасу и средней базисной плотности древесины стволов робинии псевдоакалии, которая составляет $499,8 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$.

Приведены нормативы продукции стволовой древесины древостоев в пределах значений среднего диаметра древостоя от 4 до 28 см и запаса стволовой древесины – от 20 до $180 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

Продукция стволовой древесины с увеличением среднего диаметра древостоя уменьшается, а с увеличением запаса при условии одинакового значения диаметра – увеличивается. В возрастной структуре робиниевых насаждений Северной Степи доминирует группа переспелых древостоев, для которых в диапазоне средних диаметров 14-24 см, продукция стволовой древесины составляет $1,73-2,69 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Общая продукция фитомассы надземной части робиниевых древостоев лесохозяйственных предприятий, подчиненных Государственному агентству лесных ресурсов Украины в Днепропетровской области, оценена в 138,3 тыс. т·год⁻¹.

Ключевые слова: *Robinia pseudoacacia* L.; надземная фитомасса; текущий прирост; продукция фитомассы; математическое моделирование; аллометрические регрессионные модели.

Live biomass production of the aboveground parts of black locust stands in forest plantations of the Northern Steppe of Ukraine

P. Lakyda¹, S. Sytnyk²

The ecological potential of forest ecosystems can be estimated solely on the knowledge basis of their biological productivity. Increasing aboveground live biomass of forest plant community leads to a more intensive sequestration of carbon dioxide, which is

¹ Лакида Петр Иванович – академик Лесной академии наук Украины, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, директор учебно-научного института лесного и садово-паркового хозяйства НУБіП України. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Героев Оборона, 15, г. Киев, 03041, Украина. Тел.: (044) 527-85-28, +38-067-462-80-43. E-mail: lakyda@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3639-2969>

² Сытник Светлана Анатольевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры садово-паркового хозяйства. Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Сергея Ефремова, 25, г. Днепр, 49060, Украина. Тел.: +38-093-015-46-10. E-mail: sytnyk.s.a@dsau.dp.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7646-6347>

¹ Petro Lakyda – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Professor, Doctor of Agricultural Sciences, Director of the Education and Research Institute of Forestry and Landscape-Park Management, National University of Life and Environmental Science of Ukraine, Heroiv Oborony, 15, Kyiv, 03041, Ukraine. Tel.: 044-527-85-28, +38-067-462-80-43. E-mail: lakyda@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3639-2969>

² Svitlana Sytnyk – PhD of Botany, Associate Professor of Department of Park and Garden of Dnipro State Agrarian and Economic University, Serhii Efremov str., 25, Dnipro, 49060, Ukraine. Tel.: +38-093-015-46-10. E-mail: sytnyk.s.a@dsau.dp.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7646-6347>

one of the effective mechanisms for countering climate change.

The mean annual increment of wood in the forests of the State Forestry Resource Agency of Ukraine is $3.9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, ranging from $5.0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ in the Carpathians to $2.5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ in the Steppe zone.

One of the most common tree species of forest stands of the Northern Steppe is black locust. In the forests of Dnipropetrovsk regional forestry and hunting administration, this forest-forming species occupies an area of 19683.7 ha.

The current volume of stem wood and production of live biomass components of aboveground parts of black locust stands in Ukraine are determined for modal stands, which are characterized by the following biometric indices: age – 3-82 years, trunk diameter at breast height – 3.9-24.8 cm, height – 5.2-21.5 m, relative stocking – 0.1-1.15.

As input arguments of the regression equations we have used biometric indices of black locust stands. The developed regression allometric models for estimating the current volume increase by stock, live biomass of wood and bark of trunk, live biomass of crown components – wood and bark of branches, live biomass of foliage have equation determination coefficients (0.24-0.96) that exceed the critical values. The five-factor model is identified as the most statistically significant, which includes age, mean diameter, mean

height of the main species, growing stock and relative density of stands as arguments.

Calculation of stem wood production of black locust stands was carried out through assessing their current growth by stock and the mean basics density of stem wood which is $499.8 \text{ kg (m}^3)^{-1}$.

The reference materials for assessing stem wood production of stands are given within the range of mean diameter of a stand from 4 to 28 cm and for stock of stem wood – from 20 to $180 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

The production of stem wood decreases with an increase of mean diameter of a stand. At the same time an increase of growing stock leads to an increase of production, provided that the diameter does not change. In the age structure of black locust plantations in the Northern Steppe, a group of over mature stands is dominating, for which, in the range of mean diameters of 14-24 cm, stem wood production is $1.73\text{-}2.69 \text{ t ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$.

The total live biomass production of aboveground part of black locust stands of forestry enterprises subordinated to the State Forest Resources Agency of Ukraine in the Dnipropetrovsk region is estimated at $138.3 \text{ thou. t} \cdot \text{year}^{-1}$.

Key words: black locust; aboveground live biomass; current annual increment; live biomass production; mathematical modeling; allometric regression models.