

УДК 630*5.001.4:630.17

**ФІТОМАСА ТА ДЕПОНОВАНИЙ ВУГЛЕЦЬ ШТУЧНИХ НАСАДЖЕНЬ
СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ У ЧЕРКАСЬКОМУ БОРУ**

П.І. Лакида, доктор сільськогосподарських наук

О.В. Морозюк, кандидат сільськогосподарських наук

*А.Є. Шамрай, здобувач**

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Наведено результати моделювання та побудови нормативів оцінки компонентів фітомаси штучних соснових деревостанів Черкаського бору та депонованого в них вуглецю.

Ключові слова: біотична продуктивність, фітомаса, модель, конверсійні коефіцієнти, депонований вуглець, нормативно-інформаційне забезпечення, сосна звичайна.

В Україні, як і в переважній більшості країн світу, де ліси вважаються дійовим екологічним каркасом запобігання змінам клімату, елементом енергетичної незалежності – на сьогодні вже проведені ґрунтовні дослідження біотичної продуктивності лісових насаджень для лісорослинних зон, домінуючих деревних порід, адміністративних і територіальних об'єднань, природоохоронних об'єктів високого заповідного статусу, які містять інформацію з обсягів фітомаси, продукції, депонованого вуглецю та їх динаміки. Проте продуктивність деревостанів істотно варіює як від перерахованих факторів, так і антропогенного впливу на довкілля. Керуючись цим, можна зауважити, що дослідження біотичної продуктивності штучних сосняків Черкаського бору є актуальними завданням, яке б забезпечило

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

опрацювання регіональних нормативно-довідкових даних для оцінки, аналізу і прогнозу росту цих унікальних деревостанів.

Фітомаса деревостану як компонент біотичної продуктивності є його комплексною біометричною характеристикою, яку не можна визначити безпосередньо в лісі з використанням таксаційних приладів. Тільки математичні узагальнення у вигляді моделей (регресійних, функціональних тощо), які базуються на репрезентативних дослідних даних, дозволяють встановити її обсяги, простежити динаміку, здійснити прогнозні розрахунки.

Регіональні особливості формування фітомаси у штучних соснових деревостанах Черкаського бору з опрацюванням системи нормативно-довідкових даних її оцінки є тією основою, на якій можна розв'язувати численні екологічні та ресурсно-економічні задачі.

Мета досліджень – аналіз особливостей формування та розробка комплексу нормативно-інформаційного забезпечення оцінки компонентів фітомаси штучних насаджень сосни звичайної у регіоні дослідження.

Матеріали і методика досліджень. Інформаційне забезпечення оцінки компонентів фітомаси штучних деревостанів сосни звичайної Черкаського бору здійснювалося за матеріалами закладених тимчасових пробних площ (ТПП) і зрубаних та опрацьованих на них модельних дерев (МД). Для вирішення завдань дослідження за основу використана методика збору та лабораторної обробки дослідного матеріалу П.І. Лакиди [4].

ТПП були закладені у ДП «Черкаське ЛГ» та «Чигиринське ЛГ» Державного агентства лісових ресурсів України в штучних соснових деревостанах переважаючих класів бонітету й типів лісорослинних умов (ТЛУ) у кількості 23 шт., де зрубано й оцінено компоненти фітомаси стовбура і крони на 168 модельних деревах. Віковий діапазон деревостанів, що підлягали вивченню, становив від 11 до 91 року, а відносних повнот – від 0,5 до 1,0.

Результати досліджень. Літературні джерела свідчать [1, 2, 4, 9], що на сучасному етапі дослідження фітомаси та депонованого в ній вуглецю у деревостанах певних лісотвірних порід та регіонів їх зростання найчастіше

використовуються методи, пов'язані з оцінкою відповідних показників через регресійне моделювання двома методами:

- а) прямої регресії компонентів фракцій фітомаси в абсолютних величинах;
- б) через перевідні (конверсійні) коефіцієнти із суміщенням у подальшому з банками лісовпорядної інформації.

Метод прямої регресії найбільш поширений, відображає статистичну залежність досліджуваної змінної від низки аргументів, які характеризують досліджуваний об'єкт їх абсолютними величинами.

Конверсійний коефіцієнт, або відношення маси фракції фітомаси (M_{fr}) до запасу стовбура в корі (M), вперше був запропонований Ф. Флурі [10] для оцінки об'єму гілок крони за об'ємом стовбурної деревини.

Пошук математичних моделей взаємозв'язку основних компонентів фітомаси соснових деревостанів регіону досліджень із загальною фітомасою насаджень здійснювався як із використанням прямої регресії, так і конверсійних відношень.

Моделювання залежностей здійснювалося на основі робочого масиву даних, який характеризує як компоненти надземної фітомаси деревостану (масу стовбурної деревини у корі – M_k , масу стовбурної деревини без кори – $M_{бк}$, масу кори – $M_{кор}$, масу гілок крони – $M_{гил}$, масу хвої – $M_{хв}$, масу деревної зелені (свіжозрубаний стан) – $M_{оз}$), їх конверсійні коефіцієнти (маси стовбурної деревини без кори – $R_{бк}$, маси кори – $R_{кор}$, маси гілок крони – $R_{гил}$, масу хвої – $R_{хв}$, маси деревної зелені (свіжозрубаний стан) – $R_{оз}$), так і основні таксаційні ознаки (середній діаметр – D , середню висоту – H , відносну повноту – P , середній запас – M) – як аргументи регресійних залежностей. Для виявлення закономірностей розподілу досліджуваних параметрів та забезпечення адекватності математичних моделей проведено статистичний аналіз дослідних даних.

Для встановлення тісноти зв'язку основних компонентів надземної фітомаси деревостанів з їх основними таксаційними ознаками було проведено їх кореляційний аналіз (табл. 1).

Аналізуючи коефіцієнти кореляції (див. табл. 1), варто констатувати наявність прямого високого та дуже високого за тіснотою зв'язку між запасом деревостанів у корі, масою основних компонентів надземної фітомаси стовбурів та основними таксаційними показниками (аргументами) досліджуваних деревостанів – середнім діаметром, середньою висотою та відносною повнотою насаджень. Їхні коефіцієнти кореляції змінюються у межах від 0,51 до 0,93. Лінійні кореляційні зв'язки між абсолютними показниками крони ($M_{гиль}$, $M_{хв}$ та $M_{дз}$) та цими ж аргументами характеризуються низькими та не значимими на 5%-му рівні коефіцієнтами кореляції. Досліджувані коефіцієнти кореляції конверсійних коефіцієнтів компонентів фітомаси стовбурів деревостанів із таксаційними показниками насаджень демонструють дещо нижчі (порівняно з абсолютними параметрами фітомаси) обернені залежності. Проте відносні величини компонентів фітомаси крони деревостанів ($R_{гиль}$, $R_{хв}$ та $R_{дз}$) демонструють стійкі обернені кореляційні зв'язки з досліджуваними аргументами.

1. Коефіцієнти кореляції компонентів фітомаси та їх конверсійних коефіцієнтів з таксаційними ознаками соснових деревостанів

Показник	$D, см$	$H, м$	P
$M, м^3 \cdot га^{-1}$	0,85	0,93	0,51
$M_k, т \cdot га^{-1}$	0,81	0,92	0,67
$M_{бк}, т \cdot га^{-1}$	0,82	0,92	0,67
$M_{кор}, т \cdot га^{-1}$	0,67	0,80	0,68
$M_{гиль}, т \cdot га^{-1}$	0,42	0,38	0,11
$M_{хв}, т \cdot га^{-1}$	0,28	0,23	0,21
$M_{дз}, т \cdot га^{-1}$	0,28	0,23	0,21
$R_k, т \cdot (м^3)^{-1}$	-0,75	-0,75	-0,37
$R_{бк}, т \cdot (м^3)^{-1}$	-0,75	-0,75	-0,37
$R_{гиль}, т \cdot (м^3)^{-1}$	-0,73	-0,83	-0,62
$R_{хв}, т \cdot (м^3)^{-1}$	-0,71	-0,80	-0,55
$R_{дз}, т \cdot (м^3)^{-1}$	-0,71	-0,80	-0,55

Враховуючи результати кореляційного аналізу та досвід моделювання у попередніх дослідженнях біотичної продуктивності компонентів фітомаси деревостанів (Лакида П. І. [4], Усольцев В.А. [7, 8], та інші [1, 6]), пошук математичних моделей взаємозв'язку компонентів фітомаси штучних деревостанів сосни звичайної Черкаського бору в абсолютно сухому стані (за

винятком деревної зелені) здійснювався з використанням наступних алометричних залежностей:

а) для прямої регресії:

$$M_i = f(D, H, P), \quad (1)$$

де M_i – відповідні компоненти надземної фітомаси деревостанів сосни звичайної, т·га⁻¹;

$f(D, H, P)$ – функції відповідних таксаційних ознак деревостану;

б) для конверсійних коефіцієнтів:

$$R_i = f(D, H, P), \quad (2)$$

де R_i – конверсійні коефіцієнти відповідних компонентів надземної фітомаси деревостанів сосни звичайної.

У процесі багатоваріантного пошуку регресійних моделей значущість впливу факторів на досліджувані компоненти фітомаси оцінювалася на 5%-му рівні за довірчими інтервалами коефіцієнтів регресії. Адекватність одержаних моделей вихідним даним оцінювалася статистиками розподілу їхніх залишків та за коефіцієнтами детермінації одержаних рівнянь.

Особливо прискіпливо досліджувався вплив відносної повноти на адекватність регресійних рівнянь. Незважаючи на наявність іноді слабого, але значущого на 5%-му рівні зв'язку між компонентами надземної фітомаси, їх конверсійними коефіцієнтами та відотною повнотою деревостанів, включення останньої у рівняння як фактора поряд із середнім діаметром та середньою висотою насадження дозволило істотно покращувати статистичні параметри адекватності моделі. Враховуючи результати багатоваріантного пошуку, було відібрано регресійні моделі, які рекомендовано для побудови нормативних таблиць оцінки надземної фітомаси соснових деревостанів досліджуваного регіону (табл. 2). Аналізуючи розроблені моделі, можна стверджувати, що вони адекватно описують дослідні дані з високим рівнем апроксимації, про що свідчать досить високі коефіцієнти детермінації ($Q^2=0,91-0,99$), які вказують на ту частку дисперсії залежної величини, яка описується її аргументами.

2. Моделі оцінки компонентів надземної фітомаси деревостанів сосни звичайної Черкаського бору

Номер моделі	Вид моделі	Q^2
<i>Моделі прямої регресії</i>		
3	$M_k = 3,351 \cdot D^{0,038} \cdot H^{1,286} \cdot P^{0,978}$	0,98
4	$M_{\sigma_k} = 2,759 \cdot D^{0,081} \cdot H^{1,279} \cdot P^{1,000}$	0,99
5	$M = 8,042 \cdot D^{-0,021} \cdot H^{1,350} \cdot P^{0,951}$	0,99
<i>Моделі конверсійних коефіцієнтів</i>		
6	$R_{zil} = 0,453 \cdot D^{0,394} \cdot H^{-1,299} \cdot P^{-0,728}$	0,91
7	$R_{\sigma z} = 3,083 \cdot D^{0,609} \cdot H^{-1,865} \cdot P^{-0,553}$	0,99
8	$R_{xv} = 0,884 \cdot D^{0,609} \cdot H^{-1,865} \cdot P^{-0,553}$	0,99

Слід зазначити, що в моделі 5 запасу деревостану спостерігається обернений зв'язок серед досліджуваних компонентів із середнім діаметром насадження, що свідчить про таксаційну і біологічну коректність залежності. Адже виходячи з класичної формули таксації при рівних параметрах середньої висоти і повноти деревостану – збільшення середнього діаметра повинно знижувати середнє старе видове число, а отже і запас деревостану. Для моделей конверсійних коефіцієнтів компонентів фітомаси крони характерна обернена залежність їх зміни від середньої висоти та відносної повноти деревостану, що цілком відповідає логіці формування біопродукційного процесу деревостанів.

У світовій та вітчизняній біометричній науці одним з найбільш поширених методів практичного узагальнення одержаних теоретичних (математичних) результатів була і залишається розробка нормативних таблиць. Завдяки простоті, наглядності та адекватності досліджуваним процесам, таблиці набули широкого застосування для вирішення багатьох практичних задач як у лісотаксаційній, так й інших галузях лісівництва та біології. Значно активізувався процес розробки нормативів для оцінки компонентів фітомаси дерев та деревостанів у другій половині минулого століття в багатьох країнах світу на глобальному і регіональному рівнях, що дозволило адекватно оцінити ресурсний потенціал лісових біоценозів та сприяло вирішенню нагальних екологічних та енергетичних проблем [3, 4, 5, 9].

Таблиці оцінки компонентів надземної фітомаси деревостанів сосни звичайної побудовані залежно їх від середнього діаметра, середньої висоти та відносної повноти. Як і на рівні дерева, усі таблиці компонентів фітомаси деревостану, окрім деревної зелені, розроблені лише в абсолютно сухому стані. При цьому для переведення компонентів фітомаси насаджень із свіжозрубаного стану в абсолютно сухий використовувалися показники середньої базисної щільності, а для хвої – вмісту абсолютно сухої речовини в її свіжій фракції.

Таким чином, у результаті проведених розрахунків було одержано таблиці оцінки надземної фітомаси насаджень для таких фракцій:

- 1) стовбурова деревина;
- 2) кора стовбурів;
- 3) стовбури у корі;
- 4) гілки у корі;
- 5) хвоя;
- 6) деревна зелень.

Окрім цього, були розраховані нормативи деяких агрегованих, вуглецевих та відносних величин:

- 7) фітомаса крони;
- 8) надземна фітомаса деревостану;
- 9) депонований вуглець у надземній фітомасі деревостану;
- 10) відношення надземної фітомаси деревостану до його запасу у корі (комплексний конверсійний коефіцієнт загальної надземної фітомаси деревостану).

Алгоритм розрахунку був адаптований з нормативного довідника оцінки компонентів надземної фітомаси деревостанів головних лісотвірних порід України [5] і реалізований на персональному комп'ютері в програмі *STAND*.

Фрагменти нормативних таблиць оцінки компонентів надземної фітомаси штучних деревостанів сосни звичайної Черкаського бору з модальною відносною повнотою 0,8 наведено в табл. 3.

Висновки. Опрацювання на основі одержаних математичних моделей системи нормативно-довідкових таблиць для таксації надземної фітомаси штучних деревостанів сосни звичайної в регіоні Черкаського бору дозволить відчутно збагатити існуючу інформаційну базу та слугуватиме основою при оцінці стану та прогнозу динаміки біопродуктивності цих насаджень.

Одержані нормативні таблиці дають можливість оцінити запаси енергетичних, сировинних та екологічних ресурсів штучних соснових деревостанів Черкаського бору, а також розрахувати в них вміст вуглецю. Останнє сприятиме як моніторингу концентрації CO₂ в атмосфері регіону, так і регулюванню його потоків.

Список літератури

1. Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии / Базилевич Н. И. – М. : Наука, 1993. – 293 с.
2. Базилевич Н. И. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Базилевич Н. И., Титлянова А. А., Смирнов В. В.– М. : Мысль, 1978. – 183 с.
3. Букша І. Ф. Інвентаризація та моніторинг парникових газів у лісовому господарстві : монографія / І. Ф. Букша, В. П. Пастернак. – Х. : Вид-во ХНАУ, 2005. – 125 с.
4. Лакида П. І. Фітомаса лісів України [монографія] / Лакида П. І. – Тернопіль : Збруч, 2002. – 256 с.
5. Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України / [Лакида П.І. та ін.] – К.: ВД «ЕКО-інформ», 2011. – 192 с.
6. Поздняков Л. К. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии / Поздняков Л. К., Протопопов В. В., Горбатенко В. М. – Красноярск : Краснояр. кн. изд-во, 1969. – 156 с.

7. Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев / Усольцев В.А. – Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1985. – 192 с.

8. Усольцев В.А. О точности регрессионной оценки фитомассы древостоев / Усольцев В.А. // Вестник с.-х. науки Казахстана. – 1984. – № 9. – С. 77–83.

9. Швиденко А. З. Продуктивность лесов России. Пространственный масштаб оценки продуктивности / [А. З. Швиденко, В. В. Страхов, С. Нильсон и др.] // Лесохозяйственная информация. – 2000. – Вып. 1–2. – С. 7–23.

10. Flury Ph. Untersuchungen über das Verhältniss der Reismasse zur Derbholmasse / Flury Ph. // Mitt. Schweiz. Centralanstalt Forstl. Versuchswesen, 1892, Bd. 2. – S. 25–32.

11. Matthews G. The influence of carbon budget methodology on assessments of the impact of forest management on the carbone balance // Forest ecosystem, forest management and the global carbon cycling. - Berlin: Springer-Verlag, 1996. – P. 233–243.

Приведены результаты моделирования и построения нормативов оценки компонентов фитомассы искусственных сосновых древостоев Черкасского бора и депонированного в них углерода.

Ключевые слова: Биотическая производительность, фитомасса, модель, конверсионные коэффициенты, депонированный углерод, нормативно-информационное обеспечение, сосна обыкновенная.

The results of modeling and evaluation standards phytomass components of artificial pine stands of Cherkassy pine stands and carbon deposited in them.

Keywords: Biotic productivity, phytomass, model, conversion factors, the deposited carbon, normative and information standards, scotch pine.