

7. Статистичний збірник «Довкілля Житомирщини за 2010 рік». Ж.: Державний комітет статистики України. Головне управління статистики у Житомирській області, 2011. 265 с.

8. Статистичний збірник «Довкілля України» за 2009–2015 роки. URL: [https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat\\_u/publnav\\_ser\\_u.htm](https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publnav_ser_u.htm)

9. Збірник «Статистичний щорічник Житомирської області за 2015 рік». Електронний носій.

10. Збірник «Статистичний щорічник України за 2016 рік». Електронний носій.

11. Статистична інформація «Викиди окремих забруднюючих речовин та діоксида вуглецю у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у 2015–2016 році в Житомирській області». URL: <http://www.zt.ukrstat.gov.ua/>

12. Збірник «Статистичний щорічник України за 2010 рік». URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv\\_u/01/Arch\\_zor\\_zb.htm/](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/01/Arch_zor_zb.htm/)

13. Збірник «Статистичний щорічник Житомирської області за 2010 рік». Ж.: Державний комітет статистики України. Головне управління статистики у Житомирській області, 2011. 477 с.

14. Статистичний збірник «Довкілля Житомирщини за 2015 рік». Електронний носій.

15. Статистична інформація «Витрати на охорону та раціональне використання природних ресурсів за напрямками природоохоронних заходів у 2016 році». URL: <http://www.zt.ukrstat.gov.ua/>

УДК 630\*582.475

## ВИВЧЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ КРОНИ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

*Ловинська В.М. – к. б. н., доцент,*

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет*

*Вивчено закономірності формування крони дерев сосни звичайної у деревостанах північного Степу України. Проведений аналіз кореляційних залежностей параметрів крони із біометричними показниками дерева. Апробовано моделі залежності діаметра поперечника від висоти та діаметра модельного дерева, об'єму крони – від діаметра дерева, поперечника та довжини крони.*

**Ключові слова:** *Pinus sylvestris L., поперечник крони, довжина крони, об'єм крони, модель крони.*

**Ловинская В.Н. Изучение закономерностей формирования кроны сосны обыкновенной северной Степи Украины**

*Изучены закономерности формирования кроны деревьев сосны обыкновенной в древостоях северной Степи Украины. Проведен анализ корреляционных зависимостей параметров кроны с биометрическими показателями дерева. Апробированы модели зависимости диаметра кроны от высоты и диаметра модельного дерева, объема кроны – от диаметра дерева, диаметра и длины кроны.*

**Ключевые слова:** *Pinus sylvestris L., диаметр кроны, длина кроны, объем кроны, модель кроны.*

**Lovynska V.M. A study of the regularities of Scotch pine crown formation in the Northern Steppe of Ukraine**

*The regularities of pine trees crown forming in the stands of the Northern Steppe of Ukraine are studied. The analysis of correlation dependences of tree crown parameters with biometric indexes is carried out. The models of the dependence of the diameter of the crown on the model tree height and diameter, and dependence of the crown volume on the tree diameter, crown diameter and length have been approved.*

**Key words:** *Pinus sylvestris L., crown diameter, crown length, crown volume, crown model.*

**Постановка проблеми.** Управління лісами на засадах сталого розвитку нині є найбільш пріоритетним під час ведення лісового господарства, а екологічні функції лісів виступають ключовими. Саме тому лише ґрунтовні наукові дослідження зі створенням системи нормативно-довідникової бази для їх оцінки є актуальними та своєчасними. Під час вирішення екологічних задач щодо встановлення продуктивності та визначення стану лісових насаджень належна роль відводиться питанням дослідження морфологічної структури, просторового розподілу дерев деревостану, а отже, встановленню характеристик параметрів крони окремих дерев. Форма проекції крони в межах деревостану широко варіюється. Для певної деревної породи характерна своя типова форма, здатна змінюватись залежно від віку, умов місцезростання, будови пологу [1].

В рамках моделювання дерева, вимірювання довжини, ширини крони або співвідношення крони вважаються методами оцінки конкуренції, що завжди присутня в умовах насадження та формування деревостанів. Площу поверхні крони, або об'єм крони, варто використовувати як ключовий залежний змінний елемент у функціях росту деревостанів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання вивчення параметрів крон і пологів знайшли своє відображення у роботах як вітчизняних [1–5], так і зарубіжних вчених [10]. В.А. Усольцев зазначає, що параметри поглинання сонячної енергії деревним наметом, насамперед, визначаються характером розподілу різних фракцій фітомаси [1]. Г.Г. Самойлович надає класифікацію та виділяє вісім класів вертикальної, чотири класи горизонтальної проекції крон основних лісоутворюючих порід [6].

Загалом розвиток цього питання є важливим для автоматизованості та спрощення дешифрування даних про насадження, а також для лісівничих, біоекологічних і фізіологічних досліджень, пов'язаних із поглибленим пізнанням природи насаджень. Однак наукові роботи із цієї проблематики для лісових насаджень зони Північного Степу України нині відсутні.

Сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) є однією із найбільш поширених та економічно важливою деревною породою як у степовій зоні України зокрема, так і в Центральній Європі загалом. Однак поширення цього виду внаслідок невинної зміни клімату та формування ще більш жорстких умов місцезростання може бути під загрозою шляхом її витіснення більш толерантними для умов Степу породами. Вважається, що для сосни головне значення у перетворенні енергії мають верхня та середня частини крони, які найбільш охвоєні. Біля 40% фотосинтетично активної радіації поглинається верхньою частиною крони [1], а верхній шар крони завтовшки 2–3 м характеризується найбільш високою часткою охвоєної поверхні [7].

Таким чином, всебічне вивчення умов формування фітомаси та зростання соснових насаджень має виключно важливе значення для розвитку лісової галузі у цьому регіоні.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є вивчення залежностей параметрів крони дерев сосни звичайної від таксаційних показників та розробка відповідних моделей.

Під час моделювання параметрів крони основу масивів становили результати біометричної оцінки модельних дерев та тимчасових пробних площ (ТПП), де проводились дослідження. Особливості методики, що детально описує закладання ТПП та оцінку компонентів фітомаси дерев та деревостанів, зазначає П.І. Лакида [8]. Під час оцінювання параметрів крони модельне дерево характеризували такі ознаки:

$Dk$  – діаметр крони, м;

$Lk$  – довжина крони, м;

$P$  – відсоток довжини крони від загальної висоти дерева, %;

$Vk$  – об'єм крони, м<sup>3</sup>;

$Sk$  – площа бічної поверхні живої крони, м<sup>2</sup>;

Габітус крони сосни порівнюється з двома параболоїдами, які стулені основами [8].

Площу бічної поверхні крони сосни та її об'єм розраховували за класичними математичними формулами [10]:

$$Sk = \frac{\pi r}{6H^2} [(r^2 + 4H^2)^{3/2} - r^3], \quad Vk = \frac{1}{2} \pi r^2 H$$

#### Виклад основного матеріалу дослідження.

До основних параметрів крони, які характеризують її форму та розміри, належать довжина, діаметр, об'єм та площа. Результати досліджень показали, що діапазон варіювання діаметра та довжини крони становить 2,6–15,5 та 1–5,6 м і, насамперед, залежить від віку та просторового розміщення дерев у деревостані.

Нами було визначено основні залежності параметрів крони сосни звичайної від таких лісівничо-таксаційних показників дерева, як вік, діаметр та висота. За характеристиками модельних дерев встановлено тісноту зв'язку між досліджуваними ознаками (табл. 1). Як видно із наведених даних, найвищу тісноту зв'язків об'єму та площі поверхні крони знайдено з діаметром стовбура на висоті 1,3 м, діаметром крони та довжиною крони. Критичне значення коефіцієнта кореляції при 60 спостереженнях становить 0,25, тому майже всі одержані коефіцієнти кореляції та зв'язок, який вони описують практично у всіх випадках, можна вважати достовірним на 5%-му рівні значущості. Цей факт не підтверджено у разі визначення взаємозв'язку частки крони з її об'ємом, довжиною і діаметром, а також для показника співвідношення довжини та діаметра крони з усіма досліджуваними таксаційними параметрами.

Таблиця 1

#### Коефіцієнти кореляції між основними показниками крони та стовбура дерев сосни звичайної

Показники	Вік дерева, $a$ , років	Діаметр стовбура, $D$ , см	Висота дерева, $H$ , м	Середній поперечник крони, $Dk$ , м	Довжина крони, $Lk$ , м	Відношення довжини крони до поперечника, $Lk/Dk$	Об'єм крони, $Vk$	Частка крони, $P$ , %	Площа поверхні крони, $Sk$
$a$	1								
$D$	0,69	1							
$H$	0,73	0,82	1						
$Dk$	0,20	0,60	0,40	1					
$Lk$	0,35	0,47	0,40	0,23	1				
$Lk/Dk$	0,20	-0,05	0,03	-0,54	0,65	1			
$Vk$	0,26	0,69	0,43	0,88	0,51	-0,24	1		
$P$	-0,57	-0,52	-0,75	-0,21	0,23	0,34	-0,08	1	
$Sk$	0,30	0,70	0,48	0,87	0,64	-0,12	0,98	-0,05	1

Було проведено кластерний аналіз оцінювальних параметрів дерева та його крони для виявлення складних рангів взаємозв'язків.

Як видно із представленої дендрограми (метод Варда) (рис. 2), такі показники, як діаметр та висота дерева, діаметр крони та співвідношення довжини та діаметра крони, площа та об'єм крони об'єднуються в окремі кластери.

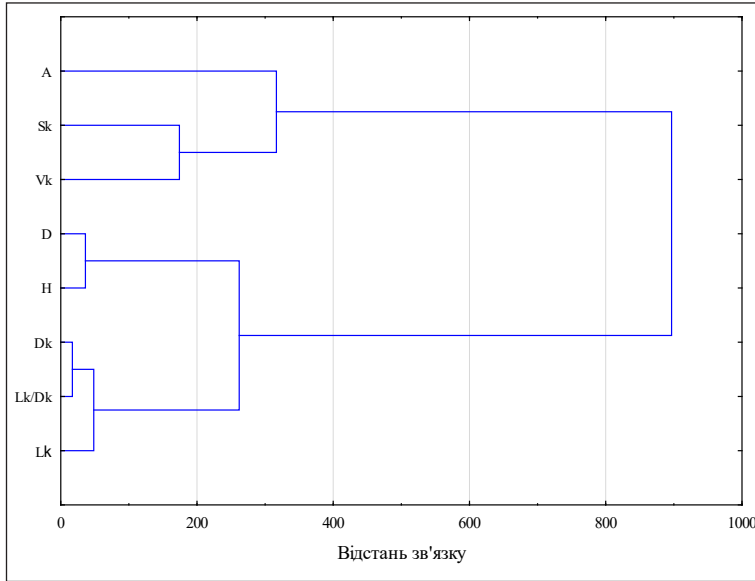


Рис. 2. Дендрограма таксаційних показників та параметрів крони модельного дерева (метод Варда, відстань Евкліда)

Оцінка параметрів крони є важливою періодичною функцією у процесі розробки інструментів моделювання. При моделюванні параметрів крони, а саме об'єму, при підборі різних комбінацій із введенням незалежних змінних, спирались на результати, отримані під час кореляційного аналізу, а саме зі значущим впливом на цей показник. З огляду на те, що таксаційні параметри дерева є тими, що легко визначаються у натурних умовах, та мають достовірний зв'язок на 5%-му рівні значущості, вони були введені у регресійне рівняння, що представлено нижче:

$$Vk = -67,07 + 0,40D + 21,73D_k + 3,40 L_k, (R^2=0,89)$$

При моделюванні діаметра крони дерев сосни звичайної за основу була прийнята функція Г. Претча [11], яка відображує залежність цього параметра від діаметра (1,3 м) та висоти дерева:

$$Dk = \exp((k_0 + k_1 \cdot \ln(D) + k_2 \cdot h + k_3 \cdot \ln(\frac{H}{D})))$$

Попередньо проведений кореляційний аналіз показав тісний прямий зв'язок цієї залежної змінної як від висоти ( $r=0,40$ ), так і від діаметра ( $r=0,60$ ) дерева.

Коефіцієнти рівняння для обчислення діаметру крони сосни, які визначали за найменшим середнім квадратом, методом нелінійного регресійного аналізу, наведені нижче.

$$Dk = \exp((0,283 + 0,055 \cdot \ln(D) + 0,030 \cdot h - 0,767 \cdot \ln(\frac{H}{D}))), (R^2=0,62)$$

Характеристики показників, які були введені у представлену модель розрахунку діаметра крони, представлені на рис. 3.

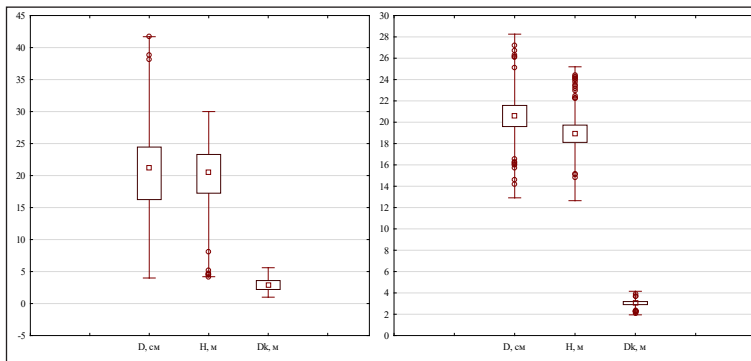


Рис. 3. Діаграма розмаху інтервальної оцінки досліджуваних параметрів моделі розрахунку об'єму крони: а) квадрат – медіана, прямокутник – кватиль вибіркового розподілу, відрізок – мінімум та максимум вибірки, крапка – викиди; б) квадрат – вибіркоче середнє, прямокутник – стандартна похибка, відрізок – стандартне відхилення, крапка – викиди

В рамках оцінювання параметрів крони нами було проведено кореляційний аналіз об'єму крони із масою деревної зелені та масою гілля. Як видно із представлених у табл. 2 коефіцієнтів кореляції, високий зв'язок цього показника встановлено із масою деревної зелені, тоді як значний – із масою гілок.

Таблиця 2

**Коефіцієнти кореляції об'єму крони з масою деревної зелені та гілок сосни звичайної**

Показники	$V_k$	$q_{оз}$	$q_{гил}$
$V_k$	1		
$q_{оз}$	0,79	1	
$q_{гил}$	0,59	0,84	1

Рис. 4. Залежність маси деревної зелені та маси гілок від об'єму крони

Отримані дослідні дані щодо залежностей маси деревної зелені та гілок від об'єму крони підлягали моделюванню з виявленням найбільш оптимальних функцій, що її описують.

Адекватними моделями цієї залежності обрані поліноміальні функції (рис. 4) із такими рівняннями:

$$Q_{оз} = 0,002V_{кр}^2 + 0,213V_{кр} + 11,201, (R^2=0,65)$$

$$Q_{гил} = 0,001V_{кр}^2 + 0,175V_{кр} + 6,341, (R^2=0,36)$$

Як демонструють наведені моделі, більш інтенсивно, зі збільшенням об'єму крони відбувається нагромадження деревної маси, порівняно із масою гілок. Розрахований коефіцієнт детермінації для функції, що описує залежність маси деревної зелені від об'єму крони, є вищим майже вдвічі від показника для маси гілок.

**Висновки і пропозиції.** При встановленні тісноти зв'язків таксаційних характеристик із показниками параметрів крони найвищий коефіцієнт кореляції знайдено для об'єму та площі поверхні крони із діаметром стовбура, середнього поперечника із довжиною крони.

При оцінюванні досліджуваних показників кластерним аналізом за допомогою методу Варда виявлено дві групи параметрів. Це площа та об'єм крони, до яких примикає показник віку дерева та діаметр й висота дерева, пов'язані з діаметром поперечника та довжиною крони.

Розрахований на основі математичних моделей об'єм крони має істотний кореляційний зв'язок із масою деревної зелені та масою гілок сосни звичайної.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Усольцев В.А. Вертикально-фракционная структура фитомассы насаждений сосны обыкновенной / В.А. Усольцев, Е.В. Кох, А.Т. Мезенцев. Актуальные научные вопросы: реальность и перспективы: сборник статей. Ч. 2. Тамбов: «Бизнес-Наука-Общество», 2012. С. 143–145.
2. Гадов К. Моделювання параметрів крони дерев в Українських Карпатах / К. Гадов, М.П. Горошко, М.М. Король. Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук.-техн. праць. 2003. Вип. 13.3. С. 264–272.
3. Гут Р.Т. Взаємозв'язок основних морфометричних показників дерев сосни звичайної різних ценопопуляцій / Р.Т. Гут, М.М. Король. Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. 2008. Вип. 18.11. С. 133–138.
4. Делеган І.І. Морфометричні особливості формування крон екотипів бука лісового. Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. 2011. Вип. 21.7. С. 31–38.
5. Матейко І.М. Моделювання параметрів крони дерев у насадженнях ясена звичайного в умовах правобережного лісостепу України. Науковий вісник НЛТУ України: зб. наук.-техн. праць. 2013. Вип. 23.2. С. 77–83.
6. Самойлович Г.Г. Таксація полого насаджений. Л.: Изд-во ЛТА, 1986. С. 47–100.
7. Дьліс Н.В. Структура лесного биогеоценоза. М.: Наука, 1969. 53 с.
8. Лакида П.И. Зависимость между биометрическими параметрами ствола и кроны деревьев сосны. Лесоводство и агролесомелиорация. К.: Урожай, 1986. Вып. 73. С. 30–33.
9. Лакида П.И. Фітомаса лісів України. Монографія. Тернопіль: Збруч, 2002. 256 с.
10. Gray, A. "The Paraboloid." §13.5 in *Modern Differential Geometry of Curves and Surfaces with Mathematica*, 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 1997, P. 307–308.
11. Pretzsch H., Biber P., Dursky J. The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation *Forest Ecology and Management* 162 (2002). 3–21.