



УДК 630*52:582.091:57.087.1-047.58

*Олександр Геннадійович Якименко,
МЛТК, викладач, к.п.н., м.Малин, Україна
Микола Станіславович Янченко,
МЛТК, студент, м.Малин, Україна*

БІОМЕТРИЧНІ ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ОСЕЙ ДЕРЕВ

Анотація. У статті наведені окремі тези щодо моделювання росту дерева як системи термінальних пагонів та росту дерев як диманіки трьохмірної популяції пагонів

Annotation. The article presents some theses on modeling tree growth as a system of terminal shoots and tree growth as chimneys of a three-dimensional population of shoots

Ключові слова: моделювання, лінійні зв'язки, ріст дерев

Key words: modeling, linear relationships, tree growth

Ріст є одним з головних біологічних феноменів, що визначає та модефікує багато біологічних процесів. У свою чергу, ріст біологічних об'єктів, що відносяться до лісових, може розглядатись та аналізуватись одразу на декількох рівнях існування живої матерії: клітинно-тканиному, організовому, популяційному та екосистемному. Мотивом досліджень росту дерев є бажання отримати передбачення явищ та ефектів, які могли б бути використані на практиці.

Один з підходів до моделювання полягає в тому, що об'єкт розглядається як деяка система його частин. Залгальний його розмір може бути виведений з росту та взаємодії цих окремих частин. Оскільки дерева можуть розглядатись як популяція пагонів, то результати досліджень мають біологічне підґрунтя. Разом з тим, з метою досліджень доцільно їх розглядати як цілісну структуру всього дерева. Теоретичні аспекти моделювання термінального росту хвойних дерев розглянуті у працях російських науковців І.Карліна та В.Гаврікова [1].

У цьому контексті, динамічна модель росту дерева у висоту будується на припущенні, що коли l – довжина пагона, а x – довжина бруньки, то можна очікувати на зв'язок $x_{n+1} = l_n$, який відображатиме довжину термінальної бруньки, що сформувалась пагоном поточного сезону росту, котрий має довжину l , при цьому число n показує число років росту. Слід також очікувати, що існує зв'язок $x_n = l_n$, який вказує на довжину термінального пагона, який виріс з бруньки довжини x в n -й рік.

Таким чином розглядувані функції $x(l)$ та $l(x)$ дають можливість розглянути послідовність росту в термінах розміру пагонів та брунок. Базове рівняння моделі набуде вигляду:

$$x_{n+1} = x[l(x_n)]$$

Якщо аналітично проаналізувати тимчасову динаміку, найпростішим випадком стане припущення про лінійний зв'язок $x(l)$ та $l(x)$. Нехай вони представлені у вигляді:

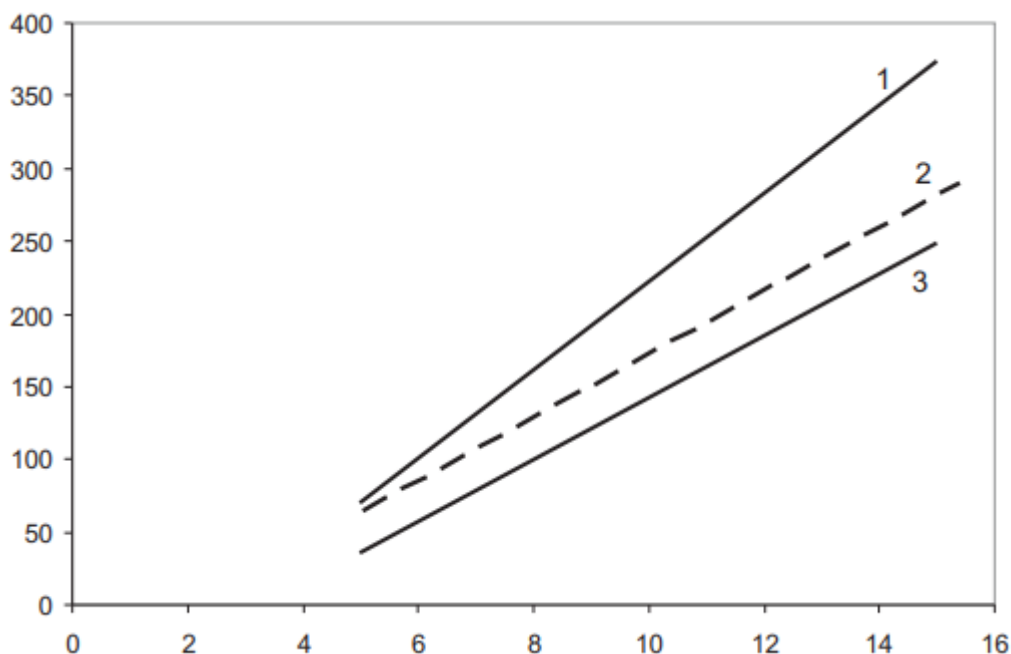
$$l(x) = k_1 x, \quad x(l) = k_2 l, \quad \text{де } k_1 \text{ та } k_2 - \text{коефіцієнти зв'язку}$$

Якщо вважати їх сталими, можна обчислити довжини термінальних пагонів та почок та дійти висновку, що ці довжини являють собою геометричну прогресію, що може бути виражена наступною формулою

$$L(n) = l_0 \frac{(k_1 k_2)^n - 1}{k_1 k_2 - 1}$$

Досвід роботи з бруньками довів, що термінальна брунька стовбура та термінальні бруньки верхніх віток мають однакову природу розвитку. Для експериментальних бруньок було розглянуто дві умови росту: вільний та голодний.

Перша умова досягалася вилученням сусідніх бруньок у вузлі, а інша моделювалася шляхом повної дефоліації пагонів нижче вузла бруньок, причому всі бруньки залишались для подальшого росту. Довжини всіх досліджуваних бруньок були виміряні за допомогою щтангенциркуля в середині квітня, до початку сезонного росту. Для оцінки зв'язку «пагін – брунька» також було виміряно міжвузлові довжини дочірнього пагона. Результати представлені на графіку



Графік 1. Лінії регресії, одержані в результаті обробки експериментальних даних

*По вертикальній осі – довжини пагонів, по горизонтальній – довжини бруньок

Одержані лінії регресії показують: 1) лінія зв'язку «брунька-пагін» для дослідів по вилученню бруньок; 2) лінія зв'язку «міжвузол-брунька»; 3) лінія зв'язку «брунька-пагін» для дослідів по дефоліації.

Результати дослідів підтверджують доцільність вибору моделі термінального росту. Кореляційні зв'язки $x(l)$ та $l(x)$, принаймні для сосни звичайної, з високою ймовірністю є лінійними. Крім того, встановлені зв'язки є достатньо сильними, що зменшує кількість помилок при якісних обчисленнях, та відповідають тим, що передбачались в моделі.

Загалом, в літературі часто зустрічається думка про те, що ефекти, які спостерігаються на популяційному рівні, походять від взаємодії між окремими організмами і їх слід трактувати на основі цих взаємодій [2]. У цьому контексті важливого значення набувають імітаційні моделі, які дозволяють вивчити взаємний вплив деревних організмів один на один. Хвойні породи і соснові зокрема, являють собою зручний об'єкт для побідибних досліджень [3]. Експериментально встановлено, що кореляції між параметрами хвої та стовбура сосни звичайної достатньо сильні. Тож для того, аби існувала така пропорційність [4]. Необхідним є постійне взаємне підлаштування між ростом ствола і корони.

Таблиця 1. Перелік зв'язків, використаних для моделювання світлозалежного росту популяції пагонів

№	Параметр, що визначається, у	Незалежна змінна, х	Зв'язок
1	Сума розмірів бруньок у вузлі	Діаметр пагона	$y = 4,37x - 6,22$
2	Кількість бруньок у вузлі.	Діаметр пагона	$y = \begin{cases} \text{round}(1,1x - 0,72), & y \leq 9 \\ 9, & y > 9 \end{cases}$
3	Діаметр бруньки у вузлі	Кількість бруньок у вузлі	Матриця коефіцієнтів табл..3
4	Довжина бруньки	Діаметр бруньки	$y = 2,4455x - 0,9377$
5	Максимальна довжина дочірнього пагона	Довжина дочірньої бруньки	$y = 30,3x - 81,22$
6	Максимальний діаметр дочірнього пагона	Діаметр дочірньої бруньки	$y = 0,59x^{1,5948}$
7	Ступінь освітленості пагона	Тіні (х) N пагонів, вищі за поточні, розмір «неба» X	$y = X - \sum x_i$
8	Відносний коефіцієнт світлозалежного росту	Ступінь освітленості пагона	$y = \begin{cases} 2x, & x \leq 0,5 \\ 1, & x > 0,5 \end{cases}$
9	Реальні розміри дочірніх пагонів	Максимальні розміри пагонів (x_1), коефіцієнт світлозалежного росту (x_2)	$y = x_1 x_2$

У таблиці відображені основні правила, що керують народжуваністю, ростом та смертністю пагонів. Їх встановлено на основі польових досліджень кореляцій між пагонами та бруньками молодих дерев сосни звичайної. Статистичні характеристики кореляційних співвідношень наведено у таблиці 2.

Таблиця 2. Параметри регресії зв'язків для коефіцієнтів таблиці 1

$$Y = \alpha x + \beta$$

Параметр, що визначається	Коефіцієнт α	Стандартна помилка	Стала β	Стандартна помилка Y	R^2	Число спостережень
Сума розмірів пагонів у вузлі	4,47	0,15	6,22	1,67	0,9	95
Кількість бруньок у вузлі	0,79	0,07	-0,72	0,77	0,716	95
Довжина бруньки	2,44	0,12	-0,93	1,16	0,794	100
Максимальна довжина дочірнього пагона	30,3	0,92	-81,22	25,58	0,93	79

Коефіцієнти, що наведені у таблиці 3, призначені для обчислень діаметрів бруньок у певному вузлі. Їх було отримано за матеріалами натурних вимірювань зимуючих бруньок сосни звичайної.

Таблиця 3. Відносний розподіл діаметрів бруньок у кожному вузлі залежно від кількості бруньок у вузлі

Число бруньок у вузлі	Відносний діаметр бруньок серед інших у тому ж вузлі								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								
2	0,62	0,38							
3	0,4	0,31	0,29						
4	0,33	0,25	0,23	0,19					
5	0,27	0,21	0,2	0,16	0,16				
6	0,22	0,175	0,16	0,15	0,15	0,145			
7	0,2	0,175	0,15	0,13	0,12	0,115	0,11		
8	0,185	0,15	0,13	0,12	0,115	0,11	0,1	0,09	
9	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07

В моделі розглядається два основних фактори, що визначають справжні розміри пагонів, що виростають з бруньок, які мають певний діаметр та довжину. Перший з них – це ступінь освітленості дочірнього пагону. В окремих наукових дослідженнях згадується, що фотосинтез окремих пагонів сосни залежить, головним чином, від інтенсивності освітлення [5]. Це твердження вірне для більшості пагонів, розташованих в глибині крони, однак верхні пагони майже ніколи не мають браку освітленості, і тому у разі сповільнення росту, на це впливають інші фактори. Іншим вирішальним фактором моделі є врахування пропорційності між масою хвої та поперечним перерізом заболоні. У окремих роботах згадується така чи аналогічна пропорційність [6]. Однією з можливих інтерпретацій пойдбних зв'язків є теза про те що крона містить стільки листя, скільки допускає розмір стовбура.



Висновки

1. Ми вбачаємо перспективний підхід до питання ідеалізації хвойних дерев, представлених у вигляді системи взаємодіючих його компонентів. На наш погляд, цей підхід дасть змогу сформулювати задачі пошуку локальних взаємодій структурних одиниць для спостережуваних законів росту цілісного організму. Для багатьох видів хвойних дерев є застосовною схема, згідно якої термінальний ріст може розглядатись як послідовність «брунька-пагін-брунька-...»

2. Аналітична модель, що базується на припущенні щодо лінійності зв'язків «розмір бруньки-розмір пагона» та «розмір пагона-розмір бруньки» дає змогу виявити основи макроскопічного сценарію термінального росту дерева.

3. Спостереження за ростом та взаємозв'язками між розмірами бруньок та пагонів молодих дерев сосни звичайної вказують на доцільність використання лінійних зв'язків при аналізі моделі термінального росту. Помічено, що зв'язки між розмірами бруньок та пагонів значимо реагують на відсутність інших бруньок або на ріст в умовах посиленої конкуренції.

4. Популяційна модель росту дерева дозволяє запропонувати підходи, більшою мірою біологічні, аніж класичні моделі, загальною рисою яких є теза про тривале життя організмів. Якщо ж дерево представити як збалансовану систему між появою та відмиранням живих тканин, це розширить можливості моделювання, включаючи і розгляд стадії старіння дерев.

5. Архітектурна модель росту дерева може бути побудована на основі підходу максимально можливого росту і його обмежень у зв'язку з конкуренцією з іншими пагонами та принципом кореляції між короною та стовбуром дерева. Ця модель дозволяє відтворювати ефекти взаємодії дерев у процесі їх спільного росту: ріст в умовах деревостою призводить до більшого росту у висоту і меншому діаметру порівняно з деревами, що ростуть окремо.

Одержані висновки дають нам підстави для проведення подальших досліджень у цьому напрямку

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Гавриков В.Л., Карлин І.В.. Динамічна модель росту дерева // Canadian Journal of Forest Research.— 1993.— Vol. 23.— с. 326–329
2. Clark J. S. Integration of ecological levels: Individual plant growth, population mortality and ecosystem processes // The Journal of Ecology.— 1990.— Vol. 78, no. 2.— p. 275–299.
3. Трескин П. П. Закономерности морфогенеза скелетной части кроны взрослой ели // Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л.: Наука.— 1973.— С. 222–240
4. Сбалансированность системы водного транспорта у сосны обыкновенной. 2. Активная ксилема / П. Хари, Л. К. Кайбияйнен, Т.А. Сазонова, А. Мякеля // Лесоведение.— 1985.— № 5.— с. 74–75
5. Stomatal conductance and photosynthesis in a mature scots pine forest. II. Dependence on environmental variables of single shoots / C L Beadle, P G Jarvis, H Talbot, R E Neilson // Journal of applied ecology.— 1985.— p. 573–586.
6. Barclay H., Pang P., Pollard D. Aboveground biomass distribution within trees and stands in thinned and fertilized douglas-fir // Canadian Journal of Forest Research.— 1986.— Vol. 16, no. 3.— p. 438–442