

# ЛІСОВА ПОЛІТИКА І ТАКСАЦІЯ

УДК 063\*56

## МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РОСТУ МОДАЛЬНИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ДУБА ЗВИЧАЙНОГО ЗА ОСНОВНИМИ ТАКСАЦІЙНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

*О.П. Бала, А.Ю. Терентьєв,  
кандидати сільськогосподарських наук*

*На підставі повидільної бази даних ВО "Укрдержліспроєкт" проведено моделювання динаміки росту за основними таксаційними показниками для дубових деревостанів у межах груп насаджень різних за складом та походженням.*

***Модальні деревостани, дуб звичайний, повидільна база даних, моделювання динаміки росту, походження насаджень.***

Одним з етапів розробки таксаційних нормативів для оцінки модальних насаджень є вивчення, опис та оцінка динамічних процесів, які відбуваються в деревостанах. Завдання такого типу найбільш складні та відповідальні, оскільки результати динамічних процесів, у подальшому, будуть покладені в основу моделей побудови таблиць ходу росту (ТХР) для модальних деревостанів.

**Мета дослідження** – проведення моделювання динаміки росту за основними таксаційними показниками для різних за походженням груп дубових деревостанів України.

**Матеріали та методика дослідження.** У сучасній лісотаксаційній науці застосовують декілька методик складання таблиць ходу росту [1, 4], але всі вони мають загальний етап – встановлення типу росту деревостанів, який визначає особливості розвитку деревостану у часі. Він залежить від ґрунтово-кліматичних умов, які, головним чином, визначаються географічним положенням [6]. Основа деяких методик лісового районування полягає саме у подібності типів росту для сукупності деревостанів [5]. Природно, що ТХР мають відображати всі особливості росту (тип росту) деревостанів, для яких вони складаються.

Типологічний метод передбачає, що лісостани, які зростають в однакових типах лісорослинних умов, мають аналогічний хід росту. Іноді додають умову, що деревостани, в яких проводяться дослідження, мають також належати до одного типу лісу [10, 11, 12].

**Результати дослідження.** Як правило, основним таксаційним показником для встановлення ходу росту є середня висота деревостану, яка має меншу варіацію, ніж середній діаметр, кількість стовбурів чи запас. Де-

які автори [2, 8] стверджують, що більш коректним показником є верхня висота деревостану (середня висота 100 найтовстіших дерев або їх певний відсоток) – вона являє собою значно стабільніший показник, має ще меншу варіацію, ніж середня висота, та майже не залежить від рубок, пов'язаних із веденням лісового господарства. Зв'язок верхньої висоти із середньою дуже тісний, тому перехід здійснюється без втрат точності даних [8, 9, 13].

Враховуючи значну кількість дослідних даних та їх велику дисперсію, виникла необхідність у групуванні їх, з цією метою, на нашу думку, доцільніше створити динамічну бонітетну шкалу, яка дозволить розділити дослідні дані на більш однорідні частини, зменшити варіацію досліджуваних показників та враховувати біологічні особливості росту деревної породи. Зважаючи на той факт, що в лісовій практиці, зокрема у виробничих умовах, верхня висота деревостану не використовується, було проведено моделювання середньої висоти деревостану. В його основу було вирішено покласти модель росту, розроблену кафедрою лісової таксації та лісовпорядкування Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП України) [14] для штучних, чистих насінневих деревостанів дуба звичайного, яка має такий вигляд:

$$H = \frac{1,656 \cdot [1 - \exp(-0,245A(1 - \exp(-0,398A)))]^{1,449} H_{БАЗ}}{0,718 + 0,00311A - 1,292 \cdot 10^5 A^2 + 8,498/A - 28,596/A^2} \quad (1)$$

де  $H$  – середня висота деревостану, м;

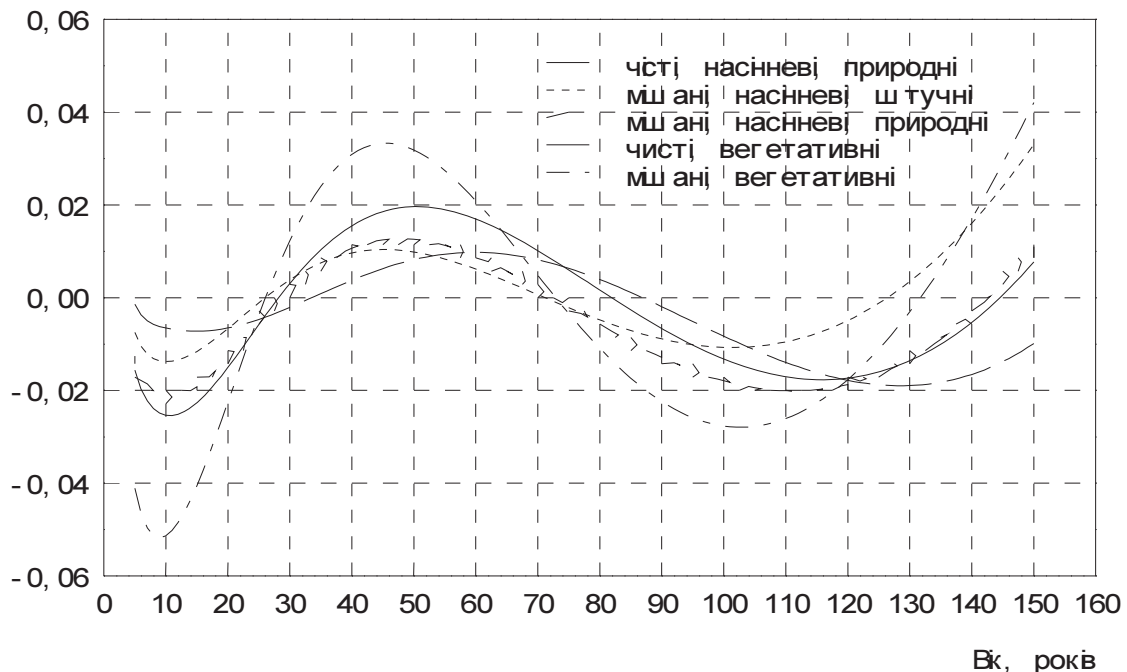
$A$  – вік деревостану, років;

$H_{БАЗ}$  – середня висота деревостану у базовому віці, м.

Після перенесення  $H_{БАЗ}$  у ліву частину рівняння отримаємо математичну модель для визначення відносних висот. Наведена модель була розроблена з використанням базової висоти у віці 50 років. Модель відносної висоти в подальшому буде використовуватися для моделювання та буде прийнята як базова.

Враховуючи відсутність моделей динаміки для кожної із досліджуваних груп насаджень (насіннєвого та вегетативного походження, чистих та мішаних деревостанів, природних та штучних насаджень) було вирішено встановити математичні залежності для кожної з груп через різницю середніх висот. З цією метою були вирівняні середні відносні висоти кожної групи деревостанів та знайдена різниця між ними та базовим деревостаном. Графічна інтерпретація різниці між відносними висотами досліджуваних деревостанів дуба звичайного наведена на рисунку.

Аналізуючи рисунок можна зауважити, що різниця між середніми висотами досліджуваних груп деревостанів знаходиться у певній закономірності та може бути легко описана методами математичного моделювання. Загалом можна відзначити, що порівняно із базовою моделлю всі досліджувані групи насаджень мають схожу тенденцію. У молодому віці (до 25–30 років) всі вони значно перевищують за висотою базову модель. Потім у період до 60 років базова модель характеризується вищою енергією росту ніж інші. У старшому віці ця енергія дещо знижується але знову починає зростати після 120–130 років.



**Залежність різниці відносних висот у межах досліджуваних груп від віку для деревостанів дуба звичайного**

Для пошуку математичних моделей, які б адекватно описували отриману залежність вирішено використати таку модель:

$$\Delta h = a_0 + a_1 A + a_2 A^2 + a_3 A^3 + a_4 A^4 + a_5 A^{1/2} + a_6 A^{1/3} + a_7 A^{1/4} \quad (2)$$

При проведенні досліджень та оцінці параметрів моделей будемо керуватися загальними передумовами регресійного аналізу [7], а саме:

1. Регресійна модель має пояснювати понад 90 % варіації залежної змінної (коефіцієнт детермінації  $R^2 > 0,9$ );
2. Достовірність моделі оцінюється за  $F$ -критерієм Фішера;
3. Коефіцієнти при незалежних змінних мають бути значимі на 5 %-му рівні за  $t$ -критерієм Ст'юдента;
4. Відносна похибка має становити менше 10 % середнього значення прогнозованого показника;
5. Залишки регресії повинні мати нормальний розподіл без автокореляції та систематичних відхилень.

Моделювання шуканої залежності свідчить, що ця модель досить чітко описує всі різкі перегини, що простежуються для деяких груп деревостанів (рис.). Завдяки пошуку математичних залежностей були отримані такі коефіцієнти рівняння та їх статистики:

**1. Значення коефіцієнтів та статистичні характеристики рівняння (2)  
для деревостанів дуба звичайного**

Коефі- цієнт	Значення коефіцієнта	Стандартна похибка	t-критерій Ст'юдента	Довірчий інтервал	
				нижній рівень	верхній рівень
Для групи чистих насінневих деревостанів природного походження					
a <sub>0</sub>	-7,249	0,491	-14,778	-8,219	-6,279
a <sub>1</sub>	-0,116	0,00985	-11,774	-0,135	-0,097
a <sub>2</sub>	0,0000513	0,0000207	2,477	0,0000103	0,0000922
a <sub>3</sub>	3,75E-07	6,82E-08	5,493	2,40E-07	5,10E-07
a <sub>4</sub>	-1,03E-09	1,17E-10	-8,753	-1,26E-09	-7,95E-10
a <sub>5</sub>	9,215	0,640	14,391	7,949	10,482
a <sub>6</sub>	-45,879	3,111	-14,745	-52,031	-39,727
a <sub>7</sub>	43,907	2,961	14,829	38,053	49,762
Для групи мішаних насінневих деревостанів штучного походження					
a <sub>0</sub>	-5,806	0,385	-15,080	-6,567	-5,045
a <sub>1</sub>	-0,109	0,00773	-14,124	-0,124	-0,094
a <sub>2</sub>	0,000114	0,0000162	7,014	0,0000818	0,000146
a <sub>3</sub>	1,46E-08	5,34E-08	0,274	-9,10E-08	1,20E-07
a <sub>4</sub>	-3,17E-10	9,19E-11	-3,452	-4,99E-10	-1,35E-10
a <sub>5</sub>	7,810	0,502	15,543	6,817	8,804
a <sub>6</sub>	-38,023	2,442	-15,572	-42,851	-33,195
a <sub>7</sub>	36,042	2,324	15,510	31,447	40,637
Для групи мішаних насінневих деревостанів природного походження					
a <sub>0</sub>	-6,777	0,453	-14,950	-7,674	-5,881
a <sub>1</sub>	-0,115	0,00911	-12,632	-0,133	-0,097
a <sub>2</sub>	0,0000782	0,0000191	4,083	0,0000403	0,000116
a <sub>3</sub>	2,32E-07	6,31E-08	3,681	1,07E-07	3,57E-07
a <sub>4</sub>	-7,55E-10	1,09E-10	-6,956	-9,70E-10	-5,40E-10
a <sub>5</sub>	8,782	0,592	14,838	7,612	9,953
a <sub>6</sub>	-43,383	2,876	-15,086	-49,069	-37,697
a <sub>7</sub>	41,383	2,737	15,122	35,972	46,794
Для групи чистих деревостанів вегетативного походження					
a <sub>0</sub>	7,103	0,067	106,462	6,972	7,235
a <sub>1</sub>	0,180	0,00134	134,432	0,178	0,183
a <sub>2</sub>	-0,000448	0,00000282	-159,114	-0,000454	-0,000443
a <sub>3</sub>	1,46E-06	9,28E-09	157,282	1,44E-06	1,48E-06
a <sub>4</sub>	-2,09E-09	1,60E-11	-130,722	-2,12E-09	-2,06E-09
a <sub>5</sub>	-10,362	0,087	-118,954	-10,535	-10,190
a <sub>6</sub>	48,402	0,423	114,357	47,565	49,239
a <sub>7</sub>	-45,200	0,403	-112,220	-45,997	-44,404
Для групи мішаних деревостанів вегетативного походження					
a <sub>0</sub>	-21,543	1,173	-18,371	-23,862	-19,224
a <sub>1</sub>	-0,408	0,0236	-17,323	-0,455	-0,361
a <sub>2</sub>	0,000480	0,0000495	9,691	0,000382	0,000578
a <sub>3</sub>	-1,47E-07	1,63E-07	-0,903	-4,70E-07	1,75E-07
a <sub>4</sub>	-1,44E-09	2,81E-10	-5,133	-2,00E-09	-8,86E-10
a <sub>5</sub>	28,749	1,531	18,779	25,722	31,776
a <sub>6</sub>	-139,933	7,438	-18,812	-154,641	-125,224
a <sub>7</sub>	132,762	7,079	18,755	118,765	146,758

3 показників табл. 1 впливає, що майже всі коефіцієнти при незалежних змінних є значущими, лише в групах мішаних, насінневих штучного походження та мішаних вегетативного походження є незначущим коефіцієнт  $a_3$ , що в цілому не відображається на адекватності отриманої моделі.

Отже, зважаючи на наведені розрахунки, структура рівняння для обчислення середньої висоти для окремої групи деревостанів набуде такого вигляду:

$$H_{Гр} = \left( \frac{H}{H_{50БМ}} + \Delta h \right) \cdot H_{50} , \quad (3)$$

де  $H_{Гр}$  – висота досліджуваної групи деревостанів;  
 $\frac{H}{H_{50БМ}}$  – відносна висота базової моделі (розрахована за формулою (1));  
 $\Delta h$  – різниця середніх відносних висот базового деревостану та досліджуваної групи (розрахована за формулою (2));  
 $H_{50}$  – висота в базовому віці.

Подальшим таксаційним показником, що підлягав моделюванню був середній діаметр деревостану. Цей показник перебуває у тісній залежності з віком та висотою деревостанів, але крім того, істотно впливає на діаметр відносна повнота, що особливо актуально для таблиць ходу росту модальних деревостанів. Отже, моделювання середнього діаметра буде відбуватися як функція від віку, середньої висоти та повноти. В результаті багатоваріантного пошуку адекватних моделей росту для побудови нормативів середнього діаметра було використано таке рівняння:

$$D = a_0 \cdot A^{a_1} \cdot \exp(a_2 \cdot H) \cdot P^{a_3} , \quad (4)$$

де  $D$  – середній діаметр деревостану;  
 $P$  – відносна повнота деревостану.

Оскільки як фактори використовувалися вік та середня висота то ця модель може бути придатна для будь-якого класу бонітету.

Застосувавши функцію нелінійної регресії були знайдені коефіцієнти рівняння (4), статистична характеристика яких наведена у табл. 2.

Як свідчать показники табл. 2, всі коефіцієнти є значущими оскільки критерій Ст'юдента для всіх коефіцієнтів рівнянь більший за 2 та у довірчий інтервал не потрапляє значення нуля.

Одним із основних таксаційних показників, які характеризують продуктивність насаджень, є його запас. У класичній таксації запас є функцією від суми площ поперечних перерізів ( $G$ ), середньої висоти ( $H$ ) та середнього видового числа ( $F$ ) [1]. Попередній аналіз наявної бази даних виявив значну дисперсію запасів [3].

Для моделювання запасу внаслідок багатоваріантного підбору математичних моделей було вирішено використати функцію, яка має такий вигляд:

$$M = a_0 \cdot H^{a_1} \cdot \exp(a_2 \cdot H) \quad (5)$$

**2. Значення коефіцієнтів та статистичні характеристики рівняння (4)  
для деревостанів дуба звичайного**

Коефіцієнт	Значення коефіцієнта	Стандартна похибка	t-критерій Ст'юдента	Довірчий інтервал	
				нижній рівень	верхній рівень
Для групи чистих насінневих деревостанів штучного походження					
a <sub>0</sub>	2,180	0,0318	68,53	2,118	2,243
a <sub>1</sub>	0,390	0,00446	87,38	0,381	0,399
a <sub>2</sub>	0,0339	0,000279	121,38	0,0334	0,0344
a <sub>3</sub>	-0,191	0,00632	-30,24	-0,203	-0,179
Для групи чистих насінневих деревостанів природного походження					
a <sub>0</sub>	1,673	0,0856	19,54	1,505	1,841
a <sub>1</sub>	0,498	0,0136	36,50	0,471	0,524
a <sub>2</sub>	0,0262	0,000874	30,00	0,0245	0,0279
a <sub>3</sub>	-0,239	0,00918	-26,08	-0,257	-0,221
Для групи мішаних насінневих деревостанів штучного походження					
a <sub>0</sub>	2,145	0,0148	144,48	2,116	2,174
a <sub>1</sub>	0,383	0,00241	159,03	0,379	0,388
a <sub>2</sub>	0,0383	0,000174	220,18	0,0379	0,0386
a <sub>3</sub>	-0,0814	0,00371	-21,94	-0,0887	-0,0741
Для групи мішаних насінневих деревостанів природного походження					
a <sub>0</sub>	1,382	0,0258	53,62	1,332	1,433
a <sub>1</sub>	0,534	0,00545	97,97	0,523	0,545
a <sub>2</sub>	0,0289	0,000411	70,44	0,0281	0,0297
a <sub>3</sub>	-0,152	0,00481	-31,58	-0,161	-0,142
Для групи чистих деревостанів вегетативного походження					
a <sub>0</sub>	1,598	0,0534	29,93	1,494	1,703
a <sub>1</sub>	0,522	0,00920	56,73	0,504	0,540
a <sub>2</sub>	0,0241	0,000577	41,79	0,0230	0,0252
a <sub>3</sub>	-0,243	0,00798	-30,43	-0,258	-0,227
Для групи мішаних деревостанів вегетативного походження					
a <sub>0</sub>	1,741	0,0292	59,63	1,683	1,798
a <sub>1</sub>	0,524	0,00499	104,93	0,514	0,534
a <sub>2</sub>	0,0221	0,000364	60,68	0,0214	0,0228
a <sub>3</sub>	-0,159	0,00530	-30,03	-0,170	-0,149

Враховуючи велику кількість дослідних показників та поділ їх на групи деревостанів, використання середньої висоти як незалежної змінної дасть можливість не розділяти вихідні дані за класами бонітету, та зменшить кількість математичних моделей.

За результатами пошуку коефіцієнтів рівняння (5) були отримані такі показники.

З показників табл. 3 випливає, що всі коефіцієнти при незалежних змінних є значущими, окрім груп деревостанів насінневого природного походження як чистих, так і мішаних за складом. Проте графічне порівняння масиву вихідних даних із даними, передбачуваними розрахованою моделлю з вилученням незначущих коефіцієнтів та без нього суттєво не вплинули на лінію тренду прогнозованих даних, що дає нам можливість



прийняти обрану нами математичну модель, як базову для всіх груп деревостанів.

### 3. Коефіцієнти та статистичні характеристики рівняння (5) для визначення запасу деревостанів дуба звичайного

Коефіцієнт	Значення коефіцієнта	Стандартна похибка	t-критерій Ст'юдента	Довірчий інтервал	
				нижній рівень	верхній рівень
Для групи чистих насінневих деревостанів штучного походження					
a <sub>0</sub>	0,767	0,046	16,503	0,676	0,858
a <sub>1</sub>	2,133	0,0295	72,198	2,075	2,191
a <sub>2</sub>	-0,0333	0,00140	-23,800	-0,0360	-0,0305
Для групи чистих насінневих деревостанів природного походження					
a <sub>0</sub>	0,706	0,414	1,704	-0,106	1,518
a <sub>1</sub>	2,099	0,267	7,870	1,576	2,622
a <sub>2</sub>	-0,033	0,0111	-2,934	-0,0546	-0,0108
Для групи мішаних насінневих деревостанів штучного походження					
a <sub>0</sub>	1,074	0,027	39,584	1,021	1,128
a <sub>1</sub>	1,968	0,0128	153,787	1,943	1,993
a <sub>2</sub>	-0,026	0,000656	-40,014	-0,0276	-0,0250
Для групи мішаних насінневих деревостанів природного походження					
a <sub>0</sub>	4,887	0,939	5,202	3,046	6,728
a <sub>1</sub>	1,245	0,0890	13,990	1,071	1,420
a <sub>2</sub>	0,00199	0,00379	0,526	-0,00543	0,00941
Для групи чистих деревостанів вегетативного походження					
a <sub>0</sub>	0,213	0,0664	3,209	0,0830	0,343
a <sub>1</sub>	2,541	0,144	17,607	2,258	2,824
a <sub>2</sub>	-0,0415	0,00622	-6,673	-0,0537	-0,0293
Для групи мішаних деревостанів вегетативного походження					
a <sub>0</sub>	0,911	0,150	6,078	0,617	1,204
a <sub>1</sub>	1,903	0,077	24,725	1,752	2,054
a <sub>2</sub>	-0,0161	0,00334	-4,815	-0,0226	-0,00954

### Висновки

Отримано ряд математичних моделей з метою моделювання росту за основними таксаційними показниками дубових деревостанів для різних груп насаджень за походженням, що дасть можливість побудувати таблиці ходу росту для модальних деревостанів у межах досліджуваних груп.

### Список літератури

1. Анучин Н.П. Лесная таксация / Анучин Н.П. – [5-е изд., доп.]. – М. : Лесн. пром-сть, 1982. – 550 с.
2. Багинский В.Ф. Бонитетные шкалы по верхней высоте для основных лесообразующих пород Западного региона Европейской части СССР / Багинский В.Ф. // Формирование высокопродуктивных насаждений Белоруси. – Минск : Польша, 1980. – С. 67–80.
3. Бала О.П. Порівняльна характеристика таксаційних показників модальних деревостанів дуба звичайного України / О.П. Бала, А.Ю. Терентьев // Нау-

ковий вісник НУБіП України. – Серія "Лісівництво та декоративне садівництво", 2011. – Вип. 164, Ч. 3 – С. 11–19.

4. Грязин Н.И. Таблицы хода роста и стандартные таблицы для сосновых и еловых насаждений Эстонской ССР / Н.И. Грязин // Сборник научных трудов ЭстСХА: труды по лесн. хоз-ву. – 1973. – № 89. – С. 159–184.

5. Давидов М.В. Опыт таксационного районирования сосновых лесов УССР по типам роста древостоев. Вопросы лесной таксации / М.В. Давидов // Труды УСГА. – 1978. – Вып. 213. – С. 19–26.

6. Давидов М.В. Типы роста сосновых лесов Европейской части СССР / М.В. Давидов // Лесной журнал. – 1977. – № 4. – С. 36–41.

7. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ: в 2-х кн. [пер. с англ.] / Н. Дрейпер, Г. Смит. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Финансы и статистика, 1986. – Кн. 1. – 366 с.ил. – (Математико-статистические методы за рубежом).

8. Лакида П.И. Модели роста и продуктивности искусственных древостоев сосны Полесья УССР: дис... канд. с.-х. наук: 06.03.02 / Лакида Петро Иванович. – К., 1986. – 202 с.

9. Петренко М. М. Динаміка фітомаси та депонованого вуглецю штучних насаджень сосни Полісся України: дис... канд. с.-г. наук : 06.03.02 / Петренко Михайло Михайлович. – К., 2002. – 166 с.

10. Порицкий Г.А. Рост молодняков сосны искусственного происхождения в условиях сложных суборей Изяславского лесхоза Хмельницкой области / Г.А. Порицкий // Вопросы оптимизации условий выращивания лесных насаждений: науч. тр. УСХА. – К., 1978. – Вып. 221. – С. 58–62.

11. Савич Ю.Н. Особенности роста сосновых культур в свежих суборях Полесья и Лесостепи : автореф. дис... на соискание ученой степени канд. с.-х. наук: спец. 06.03.02 "Лесоустройство и лесная таксация" / Ю.Н. Савич. – К., 1965. – 22 с.

12. Савич Ю.Н. Хід росту соснових культур Іа бонітету у типі лісу свіжий субір / Ю.Н. Савич // Доповіді УАСГН. – 1958. – № 5. – С. 58–60.

13. Строчинский А.А. Методическое и нормативно-информационное обеспечение системы регулирования продуктивности лесных насаждений на Украине : автореф. дис. в виде научн. докл. на соискание ученой степени д-ра с.-х. наук: спец. 06.03.02 "Лесоустройство и лесная таксация" / А.А. Строчинский. – К., 1992. – 70 с.

14. Строчинский А.А. Модели роста и продуктивность оптимальных древостоев / Строчинский А.А., Швиденко А.З., Лакида П.И. – К. : Изд-во УСХА, 1992. – 144 с.

*На основании повыведельной базы данных ПО "Укргослеспроэкт" проведено моделирование динамики роста основных таксационных показателей дубовых древостоев в пределах групп насаждений разных по составу и происхождению.*

***Модальные древостои, дуб обыкновенный, повыведельная база данных, моделирование динамики роста, происхождение насаждений.***

*On basis of stand-wise database of PA "Ukrderzhlisproekt" modeling of growth of main mensurational parameters of modal oak stands in term of groups of stands of various composition and origin is provided.*

***Modal stands, oak, stand-wise database, modeling of growth dynamics, stand origin.***