

УДК 630.[228.7+566]

<https://doi.org/10.33220/1026-3365.144.2024.44>**МОДЕЛІ ДИНАМІКИ ПОКАЗНИКІВ МОДАЛЬНИХ ШТУЧНИХ СОСНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**В. П. Пастернак^{1*}, Т. С. Пивовар², А. В. Гармаш³

Проаналізовано закономірності росту соснових деревостанів Лівобережного Лісостепу в різних лісорослинних умовах. Наведено математичні моделі динаміки лісотаксаційних показників в умовах свіжого субору, свіжого бору та свіжого сугруду та складено таблиці ходу росту модальних штучних соснових деревостанів. Для визначення динаміки висоти й запасу за основу прийнято функцію Мітчерліха, яка має широке застосування для моделювання процесів росту лісових насаджень. Ріст за висотою відбувається в межах одного класу бонітету загальнобонітетної шкали, хоча в молодшому віці соснові деревостани у свіжому бору мають тенденцію до уповільненого росту. Досліджувані деревостани Лівобережного Лісостепу мають дещо більші діаметри, висоти та, відповідно, більший запас, порівнюючи з модальними деревостанами Придніпровського Північного Степу. Виявлено, що кількісна стиглість модальних соснових деревостанів штучного походження I класу бонітету у свіжому суборі настає у віці 45 років, II класу бонітету у свіжому бору – у 55 років та у свіжому сугруді – у 40 років.

К л ю ч о в і с л о в а : *Pinus sylvestris* L., таблиці ходу росту, продуктивність, кількісна стиглість.

Вступ. Ріст і розвиток лісових насаджень залежить від багатьох чинників, зокрема видового складу, ґрунтово-кліматичних умов, лісогосподарських заходів, впливу шкідників і збудників хвороб тощо. Сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) є одним із основних цільових деревних видів в Україні, соснові деревостани займають площу понад 3 млн га (Poliakova and Abruscato, 2023). Цей деревний вид є морозо- й посухостійким, доволі невибагливим до ґрунтових умов, може рости навіть на бідних ґрунтах (Brichta *et al.*, 2023). В Україні сосна росте в різних природних зонах (Поліссі, Лісостепу та Степу) і має певні особливості росту, зумовлені передусім відмінностями ґрунтово-кліматичних умов.

Для об'єктивного оцінювання та прогнозування росту деревостанів важливим є розроблення відповідних нормативно-інформаційних матеріалів на зонально-типологічній основі. Такі нормативи з урахуванням умов формування лісових насаджень є основою для визначення рівня виконання ними екосистемних функцій (зокрема поглинання вуглекислого газу) та оцінювання ефективності проведення лісогосподарських заходів (Lakyda *et al.*, 2012; Lovynska *et al.*, 2021; Pasternak *et al.*, 2023b). Розроблені в Польщі моделі динаміки висот соснових деревостанів показали, що врахування регіональних особливостей може покращити прогнозування росту та оцінювання їхньої продуктивності (Socha *et al.*, 2021). Регіональні відмінності за кліматичними та ґрунтовими умовами впливають на ріст і формування деревостанів сосни звичайної. Тому розроблення моделей, які описують залежність росту від показників клімату, властивостей ґрунту та особливостей рельєфу, може надати цінну інформацію для управління лісами.

Для планування лісового господарства й оцінювання ефективності заходів у лісогосподарській практиці використовують моделі ходу росту, розроблені для деревостанів панівних видів і класів бонітету за природними зонами. Наразі в Україні широко застосовують моделі ходу росту модальних штучних соснових деревостанів, розроблені колективом

¹ Пастернак Володимир Петрович, доктор сільськогосподарських наук, професор, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. Е-mail: pasternak65@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1346-1968>

² Пивовар Тетяна Сергіївна, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. Е-mail: pyvovartatiana@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7250-8549>

³ Гармаш Анна Василівна, старший викладач кафедри лісових культур, меліорацій та садово-паркового господарства, Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, Харків, 61002, Україна. Е-mail: garmash1505@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1874-094X>

* Адреса для кореспонденції: pasternak65@ukr.net

НУБіПУ (Lakyda *et al.*, 2012) для зони Полісся. Проте донині в Україні не було розроблено регіональних моделей для модальних соснових деревостанів Лівобережного Лісостепу.

У Лівобережному Лісостепу України переважають штучні чисті соснові деревостани (Yarotskiy *et al.*, 2016; Garmash *et al.*, 2023). Станом на 01.01.2017 соснові деревостани в регіоні займають площу понад 240 тис. га, зокрема на площі понад 224 тис. га (93 %) вони є штучними за походженням та на площі понад 172 тис. га (71 %) – чистими за складом (Terentiev *et al.*, 2023). Закономірності формування соснових деревостанів у Лівобережному Лісостепу досліджували в попередні роки (Tarnopil'ska, 2012; Nazarenko and Pasternak, 2016; Yarotskiy *et al.*, 2016; Garmash *et al.*, 2023; Pasternak *et al.*, 2023b). Зокрема, виявлено особливості динаміки продуктивності модальних соснових деревостанів Лісостепу Харківщини (Nazarenko and Pasternak, 2016). Науковцями УкрНДЛПГА визначено, що використання лісорослинного потенціалу сосновими деревостанами в Лівобережно-Дніпровському Лісостеповому окрузі становить у середньому 73 % у свіжому сосновому бору (A₂-С) та 70 % у свіжому дубово-сосновому суборі (B₂-дС), у Середньоруському окрузі – 71 % у B₂-дС та 68 % у свіжому липово-дубово-сосновому сугруді (C₂-лдС) (Tkach *et al.*, 2018). У лісовому фонді Лівобережного Лісостепу серед соснових лісів переважають середньоповнотні деревостани, що ростуть в умовах B₂-дС, A₂-С та C₂-лдС переважно за Іа–ІІ класами бонітету (Garmash *et al.*, 2023; Terentiev *et al.*, 2023).

Мета дослідження – визначення особливостей ходу росту та продуктивності модальних штучних соснових деревостанів Лівобережного Лісостепу України.

Матеріали й методи. Регіон досліджень розташований переважно в межах Придонецького та Ворскло-Псельського секторів Слобожанського району лісотипологічної області свіжого помірного клімату (2d) (Ostapenko and Tkach, 2002). За лісогосподарським районуванням він охоплює Середньоруський та частину Лівобережно-Дніпровського (Північний і Південний райони Полтавської рівнини) лісостепових округів Лісостепової області (Gensiruk, 2002). Соснові та дубово-соснові ліси ростуть переважно на борових терасах річок, найбільш характерними типами лісу є свіжий дубово-сосновий субір (B₂-дС), свіжий сосновий бір (A₂-С) та свіжий липово-дубово-сосновий сугруд (C₂-лдС) (Bondar *et al.*, 2020).

Для побудови таблиць ходу росту використано інформацію з повидільної бази даних Українського державного проектного лісовпорядного виробничого об'єднання «Укрдержліспроект» станом на 01.01.2017, дані таксації 32 тимчасових пробних площ, закладених у соснових деревостанах штучного походження в державному спеціалізованому господарському підприємстві (ДСГП) «Ліси України», зокрема у філіях «Жовтневе лісове господарство (ЛГ)», «Чугуєво-Бабчанське ЛГ» (Харківська область), «Тростянецьке ЛГ», «Охтирське ЛГ», «Лебединське ЛГ», «Конотопське ЛГ» (Сумська область) та державних підприємствах (ДП) «Вовчанське ЛГ» і «Скрипаївське Навчально-дослідне ЛГ» (НДЛГ), трьох постійних пробних площ, закладених у ДП «Скрипаївське НДЛГ» (обліки – у 2006, 2012 та 2018 рр.), а також дані, зібрані на 13 ділянках інтенсивного моніторингу лісів у ДСГП «Ліси України» (філія «Жовтневе ЛГ»), «ДП «Скрипаївське НДЛГ» та НПП «Слобожанський» (обліки – у 2011–2023 рр.).

На 9 тимчасових пробних площах, закладених у ДП «Скрипаївське НДЛГ», проаналізовано хід росту 32 модельних дерев (Nazarenko and Babenko, 2016; Nazarenko and Pasternak, 2016). Крім того, використано дані пробної площі, закладеної під керівництвом М. В. Любчича (Lubchich, 2017), з обмірюванням 12 модельних дерев на ділянці лісовідновної рубки у філії «Гутянське ЛГ» ДСГП «Ліси України».

Пробні площі та ділянки моніторингу охоплюють значний спектр типів лісорослинних умов (ТЛУ) від сухого бору (A₁) до вологого сугруді (C₃), деревостани Іа–ІІ класів бонітету віком від 40 до 120 років і відносною повнотою від 0,33 до 0,92. Аналіз розподілу таксаційних показників свідчить, що він є близьким до нормального, а досліджувана база даних пробних площ достатньо адекватно описує соснові деревостани регіону досліджень (Garmash *et al.*, 2023; Pasternak *et al.*, 2023a).

Закладання пробних площ і визначення таксаційних показників здійснювали за загальноприйнятими в лісовій таксації методиками (Forest inventory sample plots, 2006; Hrom, 2010). Методику інтенсивного моніторингу розроблено з урахуванням підходів, які застосовують у Міжнародній спільній програмі з оцінювання та моніторингу впливу забруднення повітря на ліси (ICP Forests) (*Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis*, 2016) та моніторингу стану лісів США (US Forest Health Monitoring) (Tallent-Halsell, 1994). На кругових ділянках інтенсивного моніторингу (радіус – 17,84 м, площа 0,1 га = 1000 м²) визначали тип лісорослинних умов і тип лісу, характеристики деревостану та піднаметової рослинності. Для моделювання ходу росту використано такі показники дерев: вид, діаметр, статус (постійне, нове, всохле, впало, зрубане), клас Крафта. Для модельних дерев (три для панівного виду та по одному для супутніх із часткою одиниця і більше) вимірювали висоти.

Запас деревини на пробних площах і ділянках моніторингу визначали за формулами об'ємів стовбурів (Mytoniuk *et al.*, 2020) та за зрубаними модельними деревами (на тих пробних площах, де вони були). Моделі відбирали за способом пропорційно-ступеневого представництва (Lubchich, 2017)

Для визначення тісноти зв'язків між таксаційними показниками та моделювання регресійних залежностей між ними застосовано кореляційний і регресійний аналізи (Atramentova and Utievska, 2007). Водночас враховували, що коефіцієнти кореляції відображають лінійний зв'язок, а зв'язки між таксаційними показниками найчастіше є нелінійними. За результатами попередніх досліджень (Pasternak *et al.*, 2023a) підтверджено наявність тісного зв'язку між собою таких показників, як вік *A*, середній діаметр *D* і середня висота *H*. Відповідні коефіцієнти кореляції мають значення від 0,66 до 0,78. Для запасу *M* кореляційний зв'язок із середньою висотою і повнотою *P* становить 0,56 і 0,75 відповідно.

Основою для побудови таблиць ходу росту є динаміка відносних середніх висот деревостанів. Її апроксимували за допомогою функції Мітчерліха, яку використовують для моделювання процесів росту (Kiviste, 1988; Lovynska *et al.*, 2021). Абсолютні значення змодельованих висот отримували на основі показників висоти модифікованої шкали М. М. Орлова для насінневих деревостанів у базовому віці 80 років (Bilous *et al.*, 2021).

Результати. Спільний аналіз повидільної бази даних, пробних площ і ділянок моніторингу дав змогу визначити закономірності зміни основних таксаційних показників (табл. 1). Оскільки за результатами кореляційного аналізу на значення середнього діаметра найбільшою мірою впливають вік і висота деревостану, а також повнота в межах класу віку, для моделювання середнього діаметра використано алометричну функцію.

Таблиця 1

Функції росту штучних модальних соснових деревостанів

Table 1

Functions of growth of man-made modal pine stands

№	Тип лісорослинних умов Type of forest site condition	Функція Function	Коефіцієнт детермінації Determination coefficient
Середня висота <i>H</i> Mean height			
1	Свіжий бір (A ₂)	$H = 1,474 \cdot (1 - \exp(-0,0162 A))^{1,213} \cdot H_{80}^{баз}$	0,92
2	Свіжий суббір (B ₂)	$H = 1,386 \cdot (1 - \exp(-0,0175 \cdot A))^{1,152} \cdot H_{80}^{баз}$	0,94
3	Свіжий сугруд (C ₂)	$H = 1,371 \cdot (1 - \exp(-0,0179 A))^{1,156} \cdot H_{80}^{баз}$	0,92
Середній діаметр <i>D</i> Mean diameter			
4	Свіжий бір (A ₂)	$D = 0,672 \cdot A^{0,325} \cdot H^{0,742} \cdot P^{-0,128}$	0,82
5	Свіжий суббір (B ₂)	$D = 0,696 \cdot A^{0,319} \cdot H^{0,748} \cdot P^{-0,123}$	0,84
6	Свіжий сугруд (C ₂)	$D = 0,756 \cdot A^{0,314} \cdot H^{0,745} \cdot P^{-0,113}$	0,85

Продовження табл. 1
 Table 1 (Continued)

№	Тип лісорослинних умов Type of forest site condition	Функція Function	Коефіцієнт детермінації Determination coefficient
Запас M Growing stock			
7	Свіжий бір (A ₂)	$M = 568,6 \cdot (1 - \exp(-0,085 \cdot H))^{2,925}$	0,89
8	Свіжий суббір (B ₂)	$M = 570,5 \cdot (1 - \exp(-0,085 \cdot H))^{2,954}$	0,92
9	Свіжий сугруд (C ₂)	$M = 560,5 \cdot (1 - \exp(-0,085 \cdot H))^{2,948}$	0,87
Видова висота HF Form height			
10	$HF = 1,278 + 0,495 \cdot H - 0,0725 \cdot D$		0,84

Примітка. H^{bas}_{80} – висота у базовому віці, м.
 Note. H^{bas}_{80} is the height in base age (80 years), m.

Графік ходу росту штучних соснових деревостанів за висотою за класами бонітету та ТЛЮ представлено на рисунку 1.

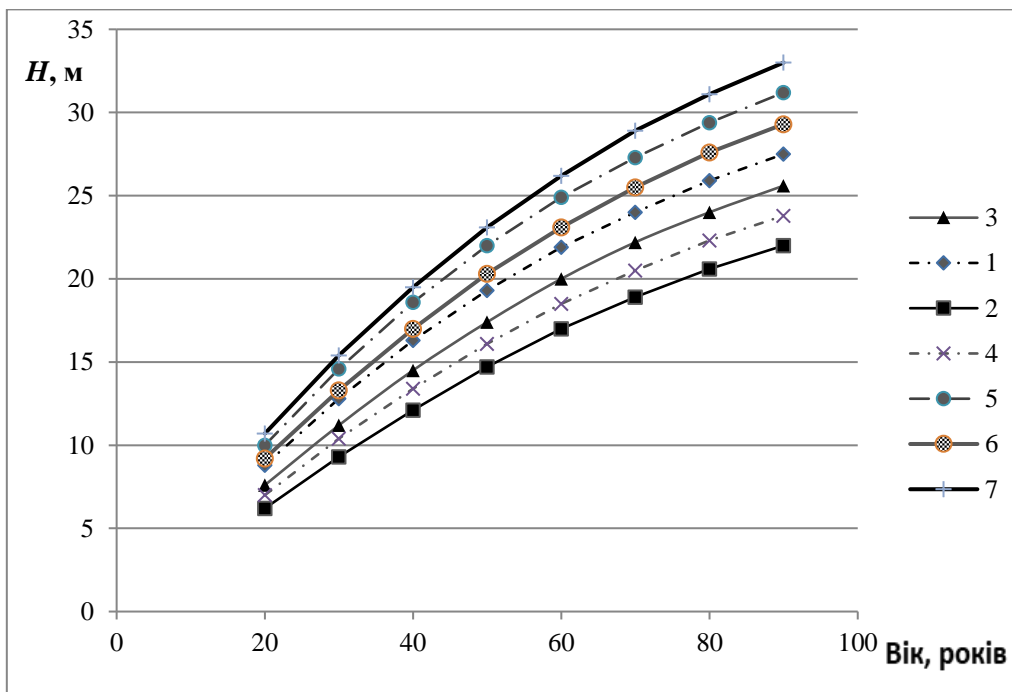


Рис. 1 – Хід росту модальних соснових деревостанів за висотою, класами бонітету та типами лісорослинних умов (2, 3, 6, 7 – межі класів бонітету (II–Ia), 1, 4, 5 – хід росту за висотою (B₂, A₂, C₂))
Fig. 1 – Height growth of modal pine stands depending on site class and forest site conditions (2, 3, 6, 7 – scope of site classes (II–Ia), 1, 4, 5 – height growth (B₂, A₂, C₂))

Визначені математичні співвідношення доволі точно характеризують хід росту штучних модальних соснових деревостанів Лівобережного Лісостепу. Коефіцієнти детермінації наведених рівнянь знаходяться в межах 0,82–0,94, що свідчить про високий рівень достовірності, тому залежності були використані для формування таблиць ходу росту, ескіз яких наведено в таблиці 2.

На графіку (рис. 2) видно, що кількісна стиглість модальних штучних соснових деревостанів I класу бонітету, що ростуть в умовах свіжого дубово-соснового субору (B₂-дС), настає у віці 45 років, коли середня зміна запасу сягає максимального значення.

Хід росту штучних модальних соснових деревостанів (I клас бонітету, B₂)

Table 2

The growth dynamics of man-made modal pine stands (I site class, B₂)

A, років A, years	H, м H, m	D, см D, cm	F	G, м ² ·га ⁻¹ G, m ² ·ha ⁻¹	M, м ³ ·га ⁻¹ M, m ³ ·ha ⁻¹	Зміна запасу, м ³ ·га ⁻¹ Stock change, m ³ ·ha ⁻¹	
						середня mean	поточна annual
10	4,4	4,5	0,709	5,79	18	1,8	—
20	8,8	9,6	0,558	17,48	86	4,3	7,7
30	12,7	14,2	0,511	25,93	169	5,7	8,3
40	16,2	18,7	0,487	30,70	243	6,1	7,0
50	19,2	22,8	0,472	33,10	302	6,0	5,4
60	21,8	26,5	0,462	34,24	345	5,8	4,1
70	24,0	30,0	0,454	34,67	379	5,4	3,1
80	25,9	33,2	0,448	34,78	404	5,0	2,3
90	27,5	36,2	0,442	34,74	422	4,7	1,8

Вік кількісної стиглості визначали за максимумом середньої зміни запасу (рис. 2).

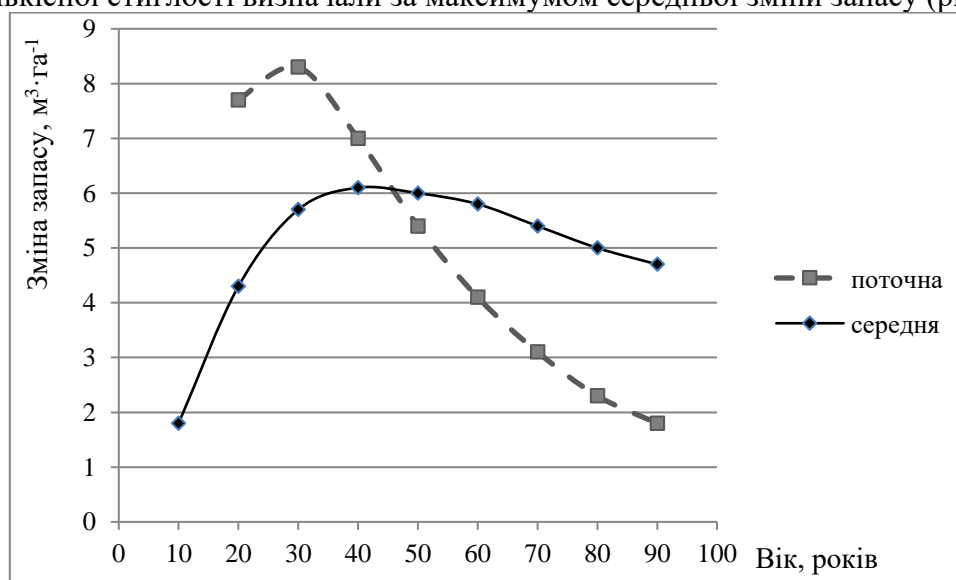


Рис. 2 – Динаміка поточної та середньої зміни запасу модальних соснових деревостанів в умовах свіжого дубово-соснового субору (B₂-дС)

Fig. 2 – Dynamics of growing stock change of modal pine stands (average and current) in B₂-Oak-pine forest type

Обговорення. Проведені дослідження свідчать, що модальні соснові деревостани в Лівобережному Лісостепу є доволі продуктивними: у віці 50 років запас модальних соснових деревостанів свіжого дубово-соснового субору (B₂-дС, I клас бонітету) становить 300 м³·га⁻¹, а в 90-річному віці – 422 м³·га⁻¹.

Ріст за висотою модальних соснових деревостанів штучного походження відбувається в межах одного класу бонітету загальнобонітетної шкали, хоча в молодшому віці в умовах свіжого бору вони мають тенденцію до уповільненого росту. Соснові деревостани Лівобережного Лісостепу характеризуються інтенсивнішим ростом за висотою, як порівняти з модальними деревостанами Придніпровського Північного Степу (Lovynska *et al.*, 2021); найбільшу різницю виявлено у віці 20–30 років (табл. 3), що пов'язане з екстремальнішими кліматичними умовами в Степу (Shvidenko *et al.*, 2018).

Таблиця 3

Зіставлення динаміки основних показників штучних соснових деревостанів Лівобережного Лісостепу та Придніпровського Північного Степу I класу бонітету

Table 3

Comparison of the dynamics of the main characteristics of man-made pine stands of the I site class in Left-Bank Forest-Steppe and the Prydniprovskiy Northern Steppe

A, років A, years	Дані авторів Data of the present study			Дані В. М. Ловинської (Lovynska <i>et al.</i> , 2021) According to Lovynska <i>et al.</i> , 2021		
	H, м H, m	D, см D, cm	M, м ³ ·га ⁻¹ M, m ³ ·ha ⁻¹	H, м H, m	D, см D, cm	M, м ³ ·га ⁻¹ M, m ³ ·ha ⁻¹
20	8,8	9,6	86	5,9	7,5	48
30	12,8	14,3	169	10,6	12,6	131
40	16,3	18,8	243	15,0	17,5	208
50	19,3	22,8	302	18,6	21,9	263
60	21,9	26,6	346	21,4	25,8	299
70	24,0	30,0	379	23,6	29,3	322
80	25,9	33,2	404	25,2	32,4	337

Виявлено, що досліджувані деревостани Лівобережного Лісостепу мають дещо більші діаметри, висоти та, відповідно, більший запас (табл. 3) проти модальних деревостанів Придніпровського Північного Степу (Lovynska *et al.*, 2021). Відносна різниця діаметрів і висот є найбільшою у молодняків (у 20-річному віці – 22 та 33 % відповідно). Водночас із віком ця різниця зменшується. Різниця за запасом є суттєвою і становить від 13 % у 50-річному віці до 44 % у 20-річному віці. Подібну закономірність, а саме збільшення продуктивності соснових деревостанів у Лісостепу, як порівняти зі Степом, відзначено, зокрема, у роботах О. М. Тарнопільської (Tarnopil'ska, 2012), що пов'язане з кращою вологозабезпеченістю лісостепової зони, порівнюючи зі степовою, оскільки саме вологість є лімітувальним фактором (Shvidenko *et al.*, 2018; Dukat *et al.*, 2023).

Оцінювання кількісної стиглості соснових деревостанів у трьох природних зонах (Полісся, Лісостеп, Північний Степ) дало змогу виявити певні закономірності. Так, зіставляючи отримані результати з результатами П. І. Лакиди та ін. (Lakyda *et al.*, 2012) для Полісся та В. М. Ловинської та ін. (Lovynska *et al.*, 2021) для Північного Степу, було виявлено, що кількісна стиглість соснових деревостанів в умовах свіжого субору (I клас бонітету) настає у такому ж віці (45 років). В умовах свіжого бору (II клас бонітету) за нашими даними вона настає у 55 років – на 5 років пізніше, ніж за даними для Північного Степу (Lovynska *et al.*, 2021) і подібно до Полісся, а в умовах свіжого сугруду (Ia клас бонітету) – у віці 40 років, як і в Поліссі, та на 5 років раніше, ніж у Північному Степу (Lovynska *et al.*, 2021).

Аналіз даних для сосняків Лівобережного Лісостепу підтверджує достовірність динаміки лісотаксаційних показників, як це визначено для Полісся (Lakyda *et al.*, 2012) та Північного Степу (Lovynska *et al.*, 2021). Водночас продуктивність соснових деревостанів у Північному Степу є суттєво нижчою. Це може бути пов'язано з різним режимом зволоження. Так, у Північному Степу показник вологості клімату за Д. В. Воробйовим *W* становить 0,46, а в Лівобережному Лісостепу – 0,98 (Nazarenko and Pasternak, 2016).

Висновки. Розроблено удосконалені моделі ходу росту модальних штучних соснових деревостанів, які дають можливість об'єктивно оцінювати їхній ріст, а також розраховувати динаміку вуглецю та товарність деревостанів.

Модальні штучні соснові деревостани характеризуються порівняно високою продуктивністю. Ріст за висотою цих деревостанів відбувається в межах одного класу бонітету загальнобонітетної шкали, хоча в молодшому віці вони мають тенденцію до уповільненого росту, що особливо виявляється в умовах свіжого бору (A₂). Кількісна стиглість модальних штучних соснових деревостанів I класу бонітету в умовах свіжого субору (B₂), визначена за

середньою зміною запасу ($6,1 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$), настає у віці 45 років, в умовах свіжого сугруду (C_2) – у 40 років ($7,1 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$), а в умовах свіжого бору (A_2) – у 55 років ($4,8 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$). Продуктивність модальних штучних соснових деревостанів у Лівобережному Лісостепу є вищою, ніж у Північному Степу, що можна пояснити кращою вологозабезпеченістю клімату.

Подяки. Автори вдячні В. Ю. Яроцькому, який надавав професійні послуги зі збору польових даних на ділянках моніторингу, та рецензентам за цінні поради та рекомендації.

Джерела фінансування. Статтю підготовлено авторами в межах виконання досліджень УкрНДІЛГА (тема №8 ДР 0120U101894), замовником якої було Державне агентство лісових ресурсів України.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Atramentova, L.O. and Utievskaya, O.M. (2007) *Biometrics. Chapter II. Group comparison and relations analysis*. Kharkiv: Ranok (in Ukrainian).
- Bilous, A.M., Kashpor, S.M., Myroniuk, V.V., Svinchuk, V.A. and Lesnik, O.M. (2021) *Forest inventory handbook*. Kyiv: Vinichenko Publishing House. ISBN 978-966-981-403-6 (in Ukrainian).
- Bondar, O., Rumiantsev, M., Tkach, L. and Obolonyk, I. (2020) 'Prevailing forest types in the river catchments within the Left-Bank Forest-Steppe zone, Ukraine', *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 62(2), pp. 100–113. <https://doi.org/10.2478/ffp-2020-0011>
- Brichta, J., Vacek, S., Vacek, Z., Cukor, J., Mikeska, M., Bílek, L., Šimůnek, V., Gallo, J. and Brabec, P. (2023) 'Importance and potential of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in 21st century', *Central European forestry journal*, 69, pp. 3–20. <https://doi.org/10.2478/forj-2022-0020>
- Dukat, P., Ziemblńska, K., Räsänen, M., Vesala, T., Olejnik, J. and Urbaniak, M. (2023) 'Scots pine responses to drought investigated with eddy covariance and sap flow methods', *European Journal of Forest Research*, 142(3), pp. 671–690. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01549-w>
- Forest inventory sample plots. Establishing method. Corporate standard 02.02-37-476:2006*. (2007). Valid from May 1, 2007. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine (in Ukrainian).
- Garmash, A.V., Gordiyshenko, A.Yu., Borysenko, O.I. and Pyvovar, T.S. (2023) 'Scots pine stands in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine', *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 65 (3), pp. 153–165. <https://doi.org/10.2478/ffp-2023-0015>
- Gensiruk, S.A. (2002) *Forests of Ukraine*. Lviv: Shevchenko Scientific Society Publishing House (in Ukrainian).
- Hrom, M.M. (2010) *Forest mensuration*. 3rd edn. Lviv: RVV NLTU (in Ukrainian).
- Kiviste, A.K. (1988) *Functions of forest growth*. Tartu.
- Lakyda, P.I., Terentiev, A.Yu. and Vasylyshyn, R.D. (2012) *Man-made pine stands of Polissya of Ukraine – forecast of growth and productivity*. Kyiv: Maidachenko I.S. (in Ukrainian).
- Lovynska, V., Terentiev, A., Lakyda, P., Sytnyk, S., Bala, O. and Gritzan, Yu. (2021) 'Comparison of Scots pine growth dynamic within Polissya and Northern Steppe zone of Ukraine', *Journal of Forest Science*, 67, pp. 533–543. <https://doi.org/10.17221/93/2021-JFS>
- Lubchich, M.V. (2017) *Improvement of approaches to the evaluation of growing stand assortment-grade structure*. PhD thesis. Kyiv: NULES of Ukraine (in Ukrainian).
- Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests* (2016). UN-ECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.). Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany. Available at: <http://www.icp-forests.net/page/icp-forests-manual> (Accessed: 26 February 2024).
- Myroniuk, V.V., Bilous, A.M. and Bidolah, D.I. (2020) *Scientific and methodical recommendations for the inventory of forest resources of Ukraine*. Kyiv: NULES of Ukraine (in Ukrainian).
- Nazarenko, V.V. and Babenko, V.V. (2016) 'The investigation of growth progress of Pine stands in Skrypaya forestry', *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(1), pp. 105–110 (in Ukrainian).
- Nazarenko, V.V. and Pasternak, V.P. (2016) *Patterns of formation of forest types of Forest-steppe of the Kharkiv region*. Kharkiv: Planeta-Print. ISBN 978-617-7229-27-7 (in Ukrainian).
- Ostapenko, B.F. and Tkach, V.P. (2002) *Forest typology*. Kharkiv: KhDAU (in Ukrainian).
- Pasternak, V.P., Girs, O.A. and Garmash, A.V. (2023a) 'Dynamics of marketability structure of pine stands in Slobozhanskyi forest typological district', *Forestry and Forest Melioration*, 142, pp. 15–21 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/1026-3365.142.2023.15>
- Pasternak, V.P., Pyvovar, T.S. and Garmash, A.V. (2023b) 'Dynamics of forestry-mensuration indicators of modal man-made pine stands in Slobozhanskyi forest typological district', *Forestry, woodworking and landscaping: current State, achievements and prospects. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Kharkiv: SBTU, pp. 62–64 (in Ukrainian).

- Poliakova, L. and Abruscato, S. (2023) *Supporting the recovery and sustainable management of Ukrainian forests and Ukraine's forest sector*. Forest Europe. Bonn: Liaison Unit Bonn. Available at: <https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2023/08/Supporting-the-recovery-and-sustainable-management-of-Ukrainian-forests-and-Ukraines-forest-sector-Final-report.pdf> (Accessed: 26 February 2024).
- Shvidenko, A.Z, Buksha, I.F. and Krakovska, S.V. (2018) *Vulnerability of Ukrainian forests to climate change*. Kyiv: Nika-centr (in Ukrainian).
- Socha, J., Tymiąska-Czabańska, L., Bronisz, K., Zięba, S and Hawryło, P. (2021) 'Regional height growth models for Scots pine in Poland', *Scientific Reports*, 11, 10330. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89826-9>
- Tallent-Halsell, N.G. (ed.). (1994) *Forest Health Monitoring, Field Methods Guide*. EPA/620/R-94/027. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Tarnopilska, O.M. (2012) *Features of growth and formation of artificial pine plantations of the Left Bank Steppe and Forest-Steppe*. Extended abstract of PhD thesis. Kharkiv: URIFFM (in Ukrainian).
- Terentiev, A., Bala, O., Lakyda, P. and Bondar, H. (2023) 'Current state and productivity of Scots pine modal stands of the Forest Steppe of Ukraine', *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 14(1), pp. 105–123. <https://doi.org/10.31548/forest/1.2023.105>
- Tkach, V.P., Kobets, O.V. and Rumiantsev, M.H. (2018) 'Use of forest site capacity by forests of Ukraine', *Forestry and Forest Melioration*, 132, pp. 3–12 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/1026-3365.132.2018.3>
- Yarotskiy, V.Y., Pyvovar, T.S., Pasternak, V.P. and Garmash, A.V. (2016) 'The Structure of pine stands at the Left-bank Forest-steppe of Ukraine', *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(4), pp. 53–59 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/40260408>

MODELS FOR MODAL MAN-MADE PINE STANDS CHARACTERISTICS DYNAMICS IN THE LEFT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE

Pasternak V.P.*¹, Pyvovar T.S.², Garmash A.V.³

The features of the growth of Scots pine stands in the Left-Bank Forest-Steppe under different forest site conditions were analyzed. Mathematical models of the stand characteristics dynamics in the fresh pure, relatively poor, and relatively fertile forest site conditions are given, and tables of the growth of modal man-made pine stands are compiled. To establish the dynamics of height and growing stock, the Mitscherlich function has been adopted as the basis, which is widely used for modeling the growth processes of forest stands. Height growth occurs within one site index class of the general site index scale, although at a younger age, Scots pine stands in fresh poor condition tend to be slow-growing. The studied stands in the Left-Bank Forest-Steppe have slightly larger diameters, heights, and, consequently, a greater growing stock compared to modal stands in the Prydniprovskiy Northern Steppe. It was established that the quantitative maturity of the modal man-made pine stands of the I site class in fresh relatively poor condition occurs at the age of 45 years, of II site class in fresh poor condition at the age of 55 years, and in fresh relatively fertile condition at the age of 40 years.

К е y o r d s : *Pinus sylvestris* L., growth tables, forest stand productivity, quantitate maturity.

Одержано редколегією 08.03.2024

¹ Pasternak Volodymyr, Dr. habil. (Agricultural Sciences), Professor, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after the G.M. Vysotsky, 86 Hryhoriia Skovorody Street, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: pasternak65@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1346-1968>

² Pyvovar Tetiana, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after the G.M. Vysotsky, 86 Hryhoriia Skovorody Street, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: pyvovartatiana@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7250-8549>

³ Garmash Anna, Senior Teacher, Forest Cultures, Melioration and Horticulture Department, State Biotechnological University, 44 Alchevskiyh Street, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: garmash1505@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1874-094X>

* Correspondence: pasternak65@ukr.net