

ХІД РОСТУ МОДАЛЬНИХ СОСНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ

Р. Д. ВАСИЛИШИН, доктор сільськогосподарських наук, професор
<https://orcid.org/0000-0002-7268-8911>, e-mail: R.Vasylyshyn@nubip.edu.ua

О. А. СЛИВА, здобувач*
e-mail: sashaslyva@ukr.net

Національний університет біоресурсів і природокористування України

В умовах зони відчуження Чорнобильської АЕС соснові деревостани, які займають площу понад 80 тис. га, виконують важливу середовищотвірну функцію, зокрема слугують вагомим природним чинником впливу на регіональний вуглецевий баланс лісових екосистем регіону. Ефективність продукування згаданої функції значно залежить від виваженості прийнятих управлінських рішень щодо ведення лісового господарства та раціонального використання лісових ресурсів у межах радіаційно забруднених територій. Інформаційною базою для забезпечення сталого ведення лісового господарства, зокрема й моніторингу міграції радіонуклідів у лісових екосистемах зони відчуження, слугує комплекс нормативно-інформаційного забезпечення, важливою складовою якого є таблиці ходу росту модальних деревостанів. Із метою доповнення цього нормативного комплексу інформацією про особливості росту соснових деревостанів, у межах цієї роботи запропоновано математичні моделі динаміки таксаційних показників та розроблено таблиці ходу росту модальних соснових деревостанів зони відчуження Чорнобильської АЕС на типологічній основі.

Інформаційною базою дослідження слугувала інформація з бази даних ВО «Укрдержліспроєкт», що містить повидільну таксаційну характеристику соснових деревостанів досліджуваного регіону, а також дані з 18 тимчасових пробних площ. У процесі моделювання у роботі використано ростову функцію та степеневі й експоненціальні залежності. Як результат запропоновано математичні моделі середньої висоти, середнього діаметра, суми площ поперечного перерізу, запасу та загальної продуктивності соснових деревостанів досліджуваного регіону. Ці математичні залежності були основою для розроблення таблиць ходу росту модальних соснових деревостанів на типологічній основі. Зокрема запропоновано таблиці ходу росту для модальних соснових деревостанів, які ростуть у сухому сосновому бору, свіжому сосновому бору, свіжому дубово-сосновому суборі, вологому дубово-сосновому суборі та вологому грабово-дубово-сосновому сугорді.

Подані математичні моделі описують динаміку таксаційних показників на понад 90 % площ соснових деревостанів досліджуваного регіону.

Ключові слова: динаміка таксаційних показників, зона відчуження, моделювання, особливості росту, тип лісу, сосна звичайна.

Актуальність. Модальні соснові деревостани зони відчуження Чорнобильської АЕС слугують важливим чинником у системі забезпечення екологічної рівноваги радіаційно забруднених екосистем. Вони також є об'єктом лісгосподарського виробництва, який виконує вагомий ресурсну функцію. У регіоні до-

слідження соснові деревостани займають площу понад 80 тис. га вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок, на яких акумульовано понад 24 млн м³ стовбурового запасу (Borsuk, 2019).

Враховуючи екологічні обмеження щодо використання цього ресурсу деревини, через його забруднення радіо-

* Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук, професор Р. Д. Васишлин.

нуклідами, для лісових фітоценозів досліджуваного регіону визначено пріоритетну середовищевірну та екостабілізаційну роль, однією з функцій якої є їхня вуглецедепонувальна здатність. Максимізація виконання цієї ролі залежатиме від прийняття ефективних лісогосподарських управлінських рішень, які, своєю чергою, потребують наукового підґрунтя у вигляді адекватного інструментарію для забезпечення об'єктивного оцінювання та прогнозування стану лісів Чорнобильської зони відчуження. Складовою цього інструментарію слугують регіональні таблиці ходу росту модальних деревостанів, які відображають наявний стан насаджень і є інформаційним базисом для оцінювання окремих екосистемних функцій лісових фітоценозів (Vasylyshyn, 2018).

Серед переваг використання саме регіональних таблиць ходу росту модальних деревостанів вітчизняні та закордонні дослідники (Lakyda & Aleksiiuk, 2017; Lakyda, Terentiev & Vasylyshyn, 2012; Shvidenko, Schepaschenko, Nilson & Boului, 2003, 2008; Vasylyshyn, 2016) акцентують увагу на їхній здатності враховувати особливості динамічних процесів у лісових насадженнях конкретного регіону, в процесі прогнозування їхнього росту й розвитку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Лісотаксаційний науковий доробок характеризується наявністю значної кількості нормативно-довідкових матеріалів, що напрацьовані за понад півстолітній період і нині слугують базовим науково-виробничим інструментарієм для прогнозування динаміки таксаційних показників соснових деревостанів Українського Полісся. Серед згаданих нормативів потрібно назвати таблиці ходу росту повних соснових деревостанів природного походження, розроблені О. В. Тюриним, а також таблиці ходу росту повних штучних соснових деревостанів, складені Ю. М. Савичем та П. І. Ла-

кидою (Shvidenko et al., 1987). Згадані таблиці росту, як і таблиці ходу росту оптимальних соснових деревостанів (Strochinskiy, Shvidenko & Lakyda, 1992), були складені на бонітетній основі, тобто відображали динаміку таксаційних показників сосняків у межах класів бонітету.

Бонітетну класифікаційну основу у процесі моделювання росту насаджень застосовували також В. В. Антанайтіс, М. В. Давидов, В. В. Загрєєв, П. І. Лакида, К. Є. Нікітін, А. З. Швиденко та ін. (Lakyda, Terentiev & Vasylyshyn, 2012).

На початку XXI ст. бонітетну класифікаційну основу було використано й для розроблення таблиць ходу росту модальних насаджень, які відображали динамічні ростові процеси в наявних деревостанах. Серед таких нормативів потрібно виокремити таблиці ходу росту штучних модальних соснових деревостанів Полісся України (Lakyda, Terentiev & Vasylyshyn, 2012) і таблиці ходу росту природних модальних соснових деревостанів Полісся України (Lakyda & Aleksiiuk, 2017). Аналогічний методологічний підхід до моделювання динаміки таксаційних показників модальних деревостанів використовували й інші дослідники (Bala, 2019; Bilous et al., 2017; Blyshchyk, 2014; Lakyda & Atamanchuk, 2014; Vasylyshyn, 2016).

Оригінальний підхід до моделювання росту модальних букових деревостанів рівнинної частини України запропонував С. І. Миклуш – таблиці ходу росту модальних деревостанів на типологічній основі. Зокрема, вчений обґрунтовує вагомий вплив лісорослинних умов, які зумовлені багатством та вологістю ґрунту, макро- і мікрокліматичними особливостями, на інтенсивність біопродукційного процесу, формування взаємозв'язку між різними компонентами лісового фітоценозу та становлення фітоценотичної рівноваги в деревостанах (Myklush,

2011). Типологічну основу використано як класифікаційний базис для моделювання динаміки таксаційних показників модальних соснових деревостанів у межах цієї наукової роботи.

Мета дослідження – здійснити моделювання динаміки таксаційних показників модальних соснових деревостанів у межах панівних типів лісу в умовах Чорнобильської зони відчуження.

Матеріали і методика дослідження. Інформаційним підґрунтям дослідження слугувала інформація з бази даних ВО «Укрдержліспроект», що містить повидільну таксаційну характеристику соснових деревостанів досліджуваного регіону, а також дані тимчасових пробних площ (ТПП), взяті з міжнародної бази даних «Biomass plot data base» (Schepaschenko et al., 2017).

Загалом у роботі використано інформацію з 18 тимчасових пробних площ (табл. 1), що характеризують модальні соснові деревостани досліджуваного регіону, а також дані понад 20 тис. лісових ділянок, які у сукупності дали змогу встановити динамічні тренди таксаційних показників у межах п'яти типів лісу: у сухому сосновому бору, свіжому сосновому бору, свіжому дубово-сосновому суборі, вологому дубово-сосновому суборі та вологому грабово-дубово-сосновому сугруді.

Моделювання динаміки таксаційних показників та статистичну перевірку одержаних результатів проведено із використанням регресійного аналізу за допомогою статистичного пакета StatSoft

STATISTICA. Для порівняння теоретичних і емпіричних даних та аналізу отриманих результатів застосовано статистичні та графічні методи.

Результати дослідження та їх обговорення. Таблиці ходу росту являють собою нормативно-довідковий базис інформаційного забезпечення ведення лісового господарства, обліку та прогнозування обсягів лісових ресурсів.

На думку С. І. Миклуша, для побудови таблиць ходу росту на типологічній основі обґрунтованою основою можуть слугувати матеріали бази даних «Повидільна таксаційна характеристика лісових ділянок і додаткові відомості про них» у поєднанні з даними тимчасових пробних площ, які характеризують ростові процеси у досліджуваних насадженнях (Myklush, 2011).

Аналіз численних математичних залежностей, які використовують для опису динаміки висоти насадження, дав змогу виокремити для цього ростові функції (Kiviste, 1988). Такі залежності детально описані та часто використовувалися у дослідженнях особливостей росту лісових насаджень (Shvidenko, Schepaschenko, Nilson & Boului, 2008; Lakyda, Terentiev & Vasylyshyn, 2012; Blyshchuk, 2014; Vasylyshyn, 2016; Lakyda & Aleksiiuk, 2017; Bala, 2019). Отже, для моделювання середньої висоти соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження використано функцію Чапмана–Річардса (Shvidenko, Schepaschenko, Nilson & Boului, 2008), яка базується на моделях Мітчерліха

1. Розподіл кількості тимчасових пробних площ за класами бонітету та панівними типами лісорослинних умов, шт.

ТЛУ	Клас бонітету				Усього
	I ^a	I	II	III	
A ₁	–	–	–	3	3
A ₂	–	2	3	–	5
B ₂	3	2	1	–	6
B ₃	1	3	–	–	4
Разом	4	7	4	3	18

(G. Mitscherlich) та Михайлова (I. Michailoff) і має такий вигляд:

$$Y = a \cdot (1 - e^{-bt})^c, \quad (1)$$

де t – вік, років;

a – параметр, що визначає максимальне значення показника;

b – параметр, що визначає характер нахилу кривої;

c – параметр, що визначає форму кривої.

Ця модель дає змогу охопити широкий спектр кривих росту, а її коефіцієнти мають біологічний зміст, а також вона характеризується значною гнучкістю та здатна описати особливості ростових процесів у досліджуваних соснових деревостанах. Коефіцієнти та статистичну оцінку моделей середньої висоти наведено у табл. 2.

Для моделювання динаміки середнього діаметра використано його залежність від таких таксаційних показників, як вік (A) та середня висота (H). У результаті одержано математичну модель, яка з високим рівнем опису вихідних дослідних даних ($R^2 = 0,82-0,86$) описує динаміку середнього діаметра модальних соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження. Її загальний вигляд такий:

$$D = a_0 \cdot \exp(H^{a_1}) \cdot (1 - \exp(-a_2 \cdot A))^{a_3}. \quad (2)$$

Оскільки як фактори функції використано вік та середню висоту, ця залеж-

ність слугуватиме для моделювання динаміки середнього діаметра будь-якого типу лісу модальних соснових деревостанів зони відчуження.

Коефіцієнти та статистичну оцінку моделей середнього діаметра подано у табл. 3.

Наведена статистична оцінка свідчить про достатньо високий рівень точності отриманих математичних моделей. Їхній коефіцієнт детермінації (R^2 більше ніж 0,82) вказує на те, що рівняння описують понад 80 % емпіричних даних.

У процесі моделювання суми площ поперечних перерізів модальних насаджень необхідно враховувати поступове зменшення відносної повноти з віком у різних типах лісу, що зумовлено структурними особливостями модальних насаджень.

Оскільки між сумою площ поперечних перерізів та середньою висотою є тісний кореляційний зв'язок, прийнятні результати може забезпечити функція, аргументами якої є вік та середня висота деревостану.

У результаті багатоваріантного пошуку адекватних моделей росту для побудови моделей суми площ поперечного перерізу (G) було використано таку математичну залежність:

$$G = a_0 \cdot H^{a_1} \cdot (1 - \exp(-a_2 \cdot A))^{a_3}. \quad (3)$$

2. Значення коефіцієнтів функції Берталанфі для моделей середньої висоти соснових деревостанів у різних типах лісу

Шифр типу лісу	Коефіцієнти рівняння			Коефіцієнт детермінації R^2
	a	b	c	
Сухий сосновий бір				
A ₁ -С	25,896	0,021	1,512	0,80
Свіжий сосновий бір				
A ₂ -С	26,477	0,027	1,540	0,82
Свіжий дубово-сосновий суббір				
B ₂ -дС	28,736	0,031	1,688	0,88
Вологий дубово-сосновий суббір				
B ₃ -дС	28,640	0,031	1,833	0,86
Вологий грабово-дубово-сосновий сугруд				
C ₃ -гдС	29,748	0,039	2,227	0,83

3. Значення коефіцієнтів функції (2) для моделей середнього діаметра соснових деревостанів у різних типах лісу

Шифр типу лісу	Коефіцієнти рівняння				Коефіцієнт детермінації R^2
	a_0	a_1	a_2	a_3	
Сухий сосновий бір					
A ₁ -С	16,943	0,034	-0,016	1,027	0,82
Свіжий сосновий бір					
A ₂ -С	9,559	0,050	-0,025	0,992	0,84
Свіжий дубово-сосновий суббір					
B ₂ -дС	7,084	0,060	-0,030	0,915	0,84
Вологий дубово-сосновий суббір					
B ₃ -дС	14,195	0,038	-0,028	1,012	0,86
Вологий грабово-дубово-сосновий сугруд					
C ₃ -гдС	16.966	0.031	-0.026	1,121	0,83

Статистичну оцінку використаного рівняння (3) для моделювання абсолютної повноти та кількісне значення його коефіцієнтів наведено у табл. 4.

Базовими таксаційними показниками деревостанів, які характеризують їхню продуктивність, є запас та приріст. У лісотаксаційних дослідженнях запас є функцією суми площ поперечних перерізів, середньої висоти та середнього видового числа (F). Тому для моделювання запасу соснових деревостанів зони відчуження було використано кількісні показники середньої висоти, відносної повноти (P) та коефіцієнта складу насадження (Kc). У результаті багатоваріантного пошуку адекватних моделей росту

було вибрано таку математичну залежність:

$$M = a_0 \cdot Kc \cdot P \cdot (1 - \exp(-a_1 \cdot H))^{a_2}. \quad (4)$$

Значення відносної повноти соснових насаджень було встановлено з урахуванням співвідношення між сумами площ поперечних перерізів досліджуваного та нормального (табличного) насадження.

Статистичну оцінку використаного рівняння (4) для моделювання запасу насадження та кількісне значення його коефіцієнтів наведено у табл. 5.

Усі наведені вище змодельовані таксаційні показники описують деревостан у цілому. Однак у модальних соснових насадженнях досліджуваного регіону в

4. Значення коефіцієнтів функції (3) для моделей суми площ поперечного перерізу соснових деревостанів у різних типах лісу

Шифр типу лісу	Коефіцієнти рівняння				Коефіцієнт детермінації R^2
	a_0	a_1	a_2	a_3	
Сухий сосновий бір					
A ₁ -С	7,013	0,523	-0,154	7,094	0,72
Свіжий сосновий бір					
A ₂ -С	14,698	0,288	-0,145	8,605	0,74
Свіжий дубово-сосновий суббір					
B ₂ -дС	23,929	0,139	-0,147	10,012	0,78
Вологий дубово-сосновий суббір					
B ₃ -дС	22,776	0,141	-0,140	9,306	0,76
Вологий грабово-дубово-сосновий сугруд					
C ₃ -гдС	19,048	0,214	-0,166	10,013	0,73

5. Значення коефіцієнтів функції (4) для моделей запасу соснових деревостанів у різних типах лісу

Шифр типу лісу	Коефіцієнти рівняння			Коефіцієнт детермінації R^2
	a_0	a_1	a_2	
Сухий сосновий бір				
A ₁ -C	149,245	-0,032	1,809	0,87
Свіжий сосновий бір				
A ₂ -C	169,764	-0,033	1,901	0,94
Свіжий дубово-сосновий субір				
B ₂ -дC	188,236	-0,028	1,774	0,93
Вологий дубово-сосновий субір				
B ₃ -дC	141,602	-0,040	1,845	0,88
Вологий грабово-дубово-сосновий сугруд				
C ₃ -гдC	142,395	-0,037	1,788	0,84

окремих випадках формуються мішані деревостани. За матеріалами повидільної бази даних встановлено залежність зміни частки досліджуваного виду у складі деревостану з віком. Згадана залежність, яка є складовою моделі динаміки запасу та загальної продуктивності, має такий вигляд:

$$C = a_0 + a_1 \cdot A + a_2 \cdot A^2, \quad (5)$$

де C – коефіцієнт складу (частка сосни звичайної) насадження.

Кількісні значення коефіцієнтів рівняння 5 наведено у табл. 6.

У модальних деревостанах досліджуваного регіону частка сосни звичайності зростає від 5–7 одиниць у вологому гра-

бово-дубово-сосновому сугруді до 9–10 одиниць у сухому сосновому бору. При цьому, в інших досліджуваних типах лісу домінують насадження із часткою сосни звичайної у складі на рівні 8–9 одиниць. Зокрема для оліготрофних, ксерофітних і мезоксерофітних умов характерні чисті та умовно чисті соснові деревостани.

Особливе значення для проектування лісогосподарських заходів має моделювання запасу частини дерев, що вибирається у процесі здійснення лісогосподарських заходів. Через недостатню кількість вихідних дослідних даних для моделювання вказаної частини таблиць ходу росту, у роботі здійснено моделю-

6. Значення коефіцієнтів залежності (5) для моделей коефіцієнтів складу соснових насаджень у різних типах лісу

Шифр типу лісу	Коефіцієнти рівняння			Коефіцієнт детермінації R^2
	a_0	a_1	a_2	
Сухий сосновий бір				
A ₁ -С	8,894	0,016	-0,008·10 ⁻²	0,37
Свіжий сосновий бір				
A ₂ -С	7,782	0,044	-0,022·10 ⁻²	0,71
Свіжий дубово-сосновий субір				
B ₂ -дС	6,473	0,063	-0,003·10 ⁻¹	0,81
Вологий дубово-сосновий субір				
B ₃ -дС	4,333	0,088	-0,004·10 ⁻¹	0,74
Вологий грабово-дубово-сосновий сугруд				
C ₃ -гдС	4,421	0,048	-0,002·10 ⁻¹	0,52

7. Значення коефіцієнтів регресії математичної моделі динаміки загальної продуктивності соснових насаджень у різних типах лісу

Шифр типу лісу	Коефіцієнти рівняння			Коефіцієнт детермінації R^2
	a_0	a_1	a_2	
Сухий сосновий бір				
A ₁ -С	244,873	-0,033	2,112	0,94
Свіжий сосновий бір				
A ₂ -С	303,952	-0,032	2,220	0,95
Свіжий дубово-сосновий суббір				
B ₂ -дС	273,334	-0,037	2,452	0,94
Вологий дубово-сосновий суббір				
B ₃ -дС	332,817	-0,029	2,063	0,84
Вологий грабово-дубово-сосновий сугруд				
C ₂ -гдС	250,617	-0,036	2,209	0,83

вання загальної продуктивності деревостану на основі інформації щодо відповідних співвідношень для соснових деревостанів Українського Полісся (Lakyda, Terentiev & Vasylyshyn, 2012; Lakyda & Aleksiiuk, 2017).

Для моделювання загальної продуктивності соснових деревостанів зони відчуження було застосовано кількісні показники середньої висоти, відносної повноти та коефіцієнта складу насаджень, у вигляді математичної залежності, яку використано для моделювання динаміки запасу.

Кількісні значення відповідних коефіцієнтів регресії наведено у табл. 7.

Загальна продуктивність є одним із найважливіших показників у побудові таблиць ходу росту для визначення середнього та поточного приросту. Загальна продуктивність враховує не тільки дійсний запас, а й той, який відпав або був вибраний унаслідок господарського втручання людини. Загальну продуктивність визначено як суму запасу насаджень, що росте, та нагромадження запасів відпаду.

Одержані математичні моделі динаміки основних таксаційних показників модальних соснових деревостанів Чорнобильської зони відчуження є основою для складання відповідних таблиць ходу росту. Фрагмент цих нормативів для так-

сації модальних соснових деревостанів у свіжому сосновому борі подано у табл. 8.

Аналіз та оцінювання адекватності розроблених нормативів є важливим етапом науково-дослідної роботи. За результатами цього етапу приймають рішення про можливість практичного застосування новостворених нормативів. Як базовий метод здійснення такої оцінки слугує порівняльний аналіз розроблених таблиць з наявним подібним інформаційним забезпеченням.

Із метою верифікації отриманих результатів дослідження здійснено порівняння росту за основними таксаційними показниками соснових деревостанів із наявними таблицями ходу росту (ТХР), розробленими для Поліського регіону (Lakyda, Terentiev & Vasylyshyn, 2012; Lakyda & Aleksiiuk, 2017). Для порівняння використано природні та штучні модальні соснові деревостани І класу бонітету (табл. 9).

Із наведених даних простежується незначне відставання у рості порівняно з штучними сосновими деревостанами Українського Полісся (Lakyda, Terentiev & Vasylyshyn, 2012) І класу бонітету, водночас сосняки у вологому дубово-сосновому суборі переважають за своїм ростом природні соснові деревостани Українського Полісся (Lakyda &

8. Хід росту модальних соснових деревостанів у свіжому сосновому бору

Вік, років	Середня висота, м	Середній діаметр, см	Кількість дерев, шт.	Сума площ поперечних перерізів, м ² ·га ⁻¹	Запас, м ³ ·га ⁻¹	Зміна запасу, м ³ ·га ⁻¹ ·рік ⁻¹		Загальна продуктивність, м ³ ·га ⁻¹	Загальний приріст, м ³ ·га ⁻¹ ·рік ⁻¹	
						середня	поточна		середній	поточний
10	2,9	2,5	7622	3,6	13	1,3	2,1	15	1,5	2,5
20	7,0	5,3	7091	15,8	50	2,5	6,3	55	2,8	6,8
30	10,9	8,7	4442	26,1	122	4,1	7,3	141	4,7	9,7
40	14,2	12,2	2619	30,7	191	4,8	6,4	237	5,9	9,2
50	16,9	15,8	1683	33,0	250	5,0	5,3	323	6,5	8,0
60	19,0	19,2	1189	34,3	297	5,0	4,3	397	6,6	6,7
70	20,7	22,2	909	35,2	336	4,8	3,4	458	6,5	5,5
80	22,1	24,8	739	35,8	366	4,6	2,7	507	6,3	4,3
90	23,1	27,1	631	36,3	389	4,3	2,0	545	6,1	3,3
100	23,9	28,9	558	36,7	406	4,1	1,4	573	5,7	2,4
110	24,5	30,4	508	36,9	417	3,8	0,9	592	5,4	1,5
120	25,0	31,6	473	37,1	424	3,5	0,4	604	5,0	0,8

9. Порівняння ходу росту за висотою модальних соснових деревостанів

Вік, роки	Динаміка середньої висоти у межах джерел інформації, м			
	Lakyda, Terentiev & Vasylyshyn, 2012	Lakyda & Aleksiiuk, 2017	деревостани у свіжому сосновому бору	деревостани у вологому дубово-сосновому суборі
20	8,2	6,6	7,0	7,8
40	16,3	14,4	14,2	16,1
60	21,9	20,9	19,0	21,6
80	25,9	25,6	22,1	24,8
100	28,9	28,8	23,9	26,6

Aleksiiuk, 2017). Наведені тренди росту у висоту досліджуваних деревостанів підтверджують необхідність розроблення окремих ТХР для врахування регіональних особливостей.

Згадані раніше тенденції динаміки складу соснових насаджень досліджувального регіону та кількісні значення їх сум площ поперечного перерізу значною мірою визначають особливості формування загального запасу. У цьому контексті сосняки Чорнобильської зони відчуження у віці понад 60 років випереджають за продуктивністю соснові деревостани Українського Полісся загалом (табл. 10).

Кількісні значення запасу модальних деревостанів, як і їхні суми площ поперечних перерізів, є мірилом інтенсивності ведення лісового господарства у тому чи тому регіоні. Ця особливість чітко простежується з даних табл. 10, відображаючи особливий режим використання лісових ресурсів у межах радіаційно забрудненої території.

Узагальнюючи, потрібно зазначити, що запропоновані таблиці ходу росту цілком відображають особливості формування модальних соснових деревостанів в умовах Чорнобильської зони відчуження та слугуватимуть науковою основою для прийняття ефективних

10. Порівняння ходу росту за запасом модальних соснових деревостанів

Вік, роки	Динаміка запасу у межах джерел інформації, м³			
	Lakyda, Terentiev & Vasylyshyn, 2012	Lakyda & Aleksiiuk, 2017	деревостани у свіжому сосновому бору	деревостани у вологому дубово-сосновому субору
20	74	76	50	57
40	204	189	191	285
60	289	283	297	335
80	340	347	366	405
100	373	383	406	444

управлінських рішень у напрямі організації сталого управління лісовими ресурсами з урахуванням екологічних радіаційних обмежень.

Висновки і перспективи. За результатами проведених досліджень запропоновано математичні моделі динаміки основних таксаційних показників, які характеризуються високим ступенем опису дослідних даних. Згідно з ними розроблено таблиці ходу росту модальних соснових деревостанів Чорнобильської

зони відчуження на типологічній основі, які відображають регіональні особливості росту та розвитку соснових насаджень у межах п'яти найпоширеніших типів лісу: сухого соснового бору, свіжого соснового бору, свіжого дубово-соснового субору, вологого дубово-соснового субору та вологого грабово-дубово-соснового сугруду. Ці нормативи слугуватимуть базисом для оцінювання біопродуктивності та особливостей міграції радіонуклідів у лісових екосистемах регіону.

Список літератури

- Bala, O. P. (2019). *Modelling growth and yield of hardwood broadleaved stands in Ukraine*. Kyiv: LLC "KOMPRINT" [in Ukrainian].
- Bilous, A. M., et al. (2017). *Regulatory reference materials for the evaluation of ecosystem services of softwood forests of the Ukrainian Polissya*. Kyiv: NULES of Ukraine [in Ukrainian].
- Blyshchik, V. I. (2014). Production of alder stands in Ukrainian Polissya. (Abstract of PhD dissertation for Agricultural Science, 06.03.02 – Forest Inventory and Forest Measurement). Kyiv.
- Borsuk, O. A. (2019). Comprehensive assessment of the fire danger of forests in the exclusion zone. (Abstract of PhD dissertation for Agricultural Science, 06.03.02 – Forest Inventory and Forest Measurement). Kyiv.
- Kiviste, A. K. (1988). *The funcon of growth of forest*. Tartu [in Russian].
- Lakyda, P. I., & Aleksiiuk, I. L. (2017). *Natural pine forest stands of Ukrainian Polissya: growth and productivity forecast*. Korsun-Shevchenkivskiy: FOP Maydachenko I. S. [in Ukrainian].
- Lakyda, P. I., & Atamanchuk, R. V. (2014). *Forecast and productivity of modal birch stands in Ukrainian Polissya*. Korsun-Shevchenkivskiy: FOP Havryshenko V. M. [in Ukrainian].
- Lakyda, P. I., Terentiev, A. Yu., & Vasylyshyn, R. D. (2012). *Scots pine stands of arificial origin in Ukrainian Polissya – growth and producvtiy forecast*. Korsun-Shevchenkivskiy: FOP Maydachenko I. S. [in Ukrainian].
- Myklush, S. I. (2011). *Plain beech forests of Ukraine: producvtiy and organizaon of a sustainable economy*. Lviv: ZUCTS [in Ukrainian].
- Schepaschenko, D., et al. (2017). Biomass plot data base. *PANGAEA*. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.871465>.
- Shvidenko, A. Z., et al. (1987). *Reference materials for forest mensuration in Ukraine and Moldova: regulatory and industrial publication*. Kyiv: Urozhai [in Russian].
- Shvidenko, A. Z., Schepaschenko, D. G., Nilson, S., & Boului, Yu. I. (2003). The system of growth models and the dynamics of forest producvtiy in Russia (yield tables). *Forestry*, 6, 34–38.
- Shvidenko, A. Z., Schepaschenko, D. G., Nilson, S., & Bouluy, Yu. I. (2008). *Tables and models of the growth and producvtiy of plantaons of the main forest-forming species of Northern Eurasia*. Moscow [in Russian].

- Strochinskiy, A. A., Shvidenko, A. Z., & Lakyda, P. I. (1992). *Models of growth and productivity of opmal stands*. Kyiv: Publishing house USHA [in Russian].
- Vasylyshyn, R. D. (2016). *Forests of Ukrainian Carpathians – features of growth, biological and energy producvtvity*. Kyiv: LLC “KOM-PRINT” [in Ukrainian].
- Vasylyshyn, R. D. (2018). *Environmental and energy potential of forests in Ukrainian Carpathians and its sustainable use*. Kyiv: LLC “KOMPRINT” [in Ukrainian].
-

Vasylyshyn, R. D., Slyva, O. A. (2020). Growth and yield of modal scots pine stands in the Chornobyl exclusion zone. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 11 (4), 15–24. <https://doi.org/10.31548/forest2020.04.002>

In the Chornobyl Exclusion Zone, Scots pine stands, which cover an area of over 80,000 hectares, perform an important environmental function, in particular, they serve as a significant natural factor influencing the regional carbon balance of the region's forest ecosystems. The efficiency of production of this function significantly depends on the balance of management decisions regarding forest management and rational use of forest resources within radiation-contaminated areas. The information base for ensuring sustainable forest management, including monitoring of radionuclide migration in forest ecosystems of the Exclusion zone, is represented by a set of reference and information support, an important component of which are yield tables for modal stands. In order to supplement this complex with information on the peculiarities of Scots pine stands growth, mathematical models of dynamics of biometric indices are proposed and forest typology-based yield tables of modal pine stands of Chernobyl Exclusion Zone are developed within this work.

The information basis of the research is presented by information from the database of IA “Ukrderzhlisproekt”, which contains the biometric assessment characteristics of Scots pine stands in the study region, as well as data from 18 temporary sample plots. In course of modelling, power and exponential growth functions were used. As a result, mathematical models of mean height, mean diameter, sum of basal area, growing stock and total productivity of pine stands of the studied region are proposed. These mathematical dependences serve as a basis for the development of forest typology-based yield tables for modal Scots pine stands. In particular, yield tables for modal pine stands growing in dry infertile pine sites, fresh infertile pine sites, fresh fairly infertile pine-oak sites, moist fairly infertile pine-oak sites and moist fairly fertile hornbeam-oak-pine sites are proposed.

The developed mathematical models describe the dynamics of biometric indices for more than 90 % of the area of Scots pine stands in the study region.

Keywords: dynamics of biometric indices, Chornobyl exclusion zone, modeling, growth peculiarities, forest type, Scots pine.

Отримано: 2020-10-12