

БІОЛОГІЧНА ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СОСНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ПОЛІССЯ

В.В. Мороз¹, Л.М. Тимошенко²

¹Західноукраїнський національний університет (м. Тернопіль, Україна)
e-mail: vera_moroz@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1258-1530

²Інститут агроєкології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)
e-mail: pion060917@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4648-8307

Дослідження біологічної продуктивності та енергетичного потенціалу соснових деревостанів Полісся України має стратегічне значення в умовах глобальних кліматичних змін та зростаючих енергетичних потреб суспільства. На основі комплексного аналізу 40 тимчасових пробних площ у соснових насадженнях віком 46–120 років встановлено закономірності формування фітомаси, вуглецепоглиняльної здатності та киснепродуктивності деревостанів у різних типах лісорослинних умов. Використано методики ІРСС та І.Я. Лієпі для оцінки екологічних функцій насаджень. Виявлено, що найвищі показники біопродуктивності характерні для насаджень у свіжому сугруді (С2), де за однакових морфометричних параметрів дерева демонструють максимальну вуглецепоглиняльну здатність (158,8 кг) та киснепродуктивність (341,6 кг). Для визначення математичних залежностей між морфометричними характеристиками та фітомасою модельних дерев сосни застосовано регресійний аналіз із використанням степеневих функцій, що дало можливість розробити емпіричні рівняння для прогнозування біопродуктивності насаджень. Встановлено значні регіональні відмінності у розподілі фітомаси, поглинанні вуглецю та продукуванні кисню, з найвищими показниками у Київській обл. Високі показники також зафіксовано у Житомирській та Рівненській обл., що підтверджує їх вагомий внесок у екологічні процеси регіону. Енергетичний потенціал соснових деревостанів варіює залежно від типу лісорослинних умов, досягаючи максимуму (5,7 ГДж) у свіжому сугруді (С2), а найнижчий показник (4,2 ГДж) спостерігається у вологому суборі (В3). Найвищий енергетичний ресурс соснових лісів виявлено у Київській (128736 ГДж), Житомирській (107280 ГДж) та Рівненській (89400 ГДж) обл., що робить ці регіони перспективними для використання біомаси в енергетичних цілях. Дослідження базувалося на аналізі 128 модельних дерев сосни звичайної, розподілених за різними типами лісорослинних умов: свіжий субір (В2) — 35 дерев; вологий субір (В3) — 31 дерево; свіжий сугруд (С2) — 37 дерев; вологий сугруд (С3) — 25 дерев. Такий підхід забезпечив репрезентативність вибірки для комплексного аналізу екологічних функцій соснових насаджень.

Ключові слова: фітомаса, вуглецепоглиняльна здатність, киснепродуктивність, лісорослинні умови, екологічні функції, регіональні особливості, морфометричні параметри, степеневі рівняння, альтернативна енергетика, сталі лісоекосистеми.

ВСТУП

Ліси відіграють ключову роль у глобальному вуглецевому циклі, виконуючи функцію поглинання вуглекислого газу та виробництва кисню. Сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) є одним із основних лісоутворювальних видів в Україні, що має значний вплив на зменшення викидів парникових газів та підтримання екологічної рівноваги. В умовах кліматичних змін та зростаючих енергетичних потреб суспільства, дослідження біологічної продуктивності та

енергетичного потенціалу соснових деревостанів набуває особливої актуальності.

Сучасні дослідження підтверджують, що біопродуктивність соснових лісів залежить від низки чинників, як-от кліматичні умови, тип ґрунту, вік насаджень і рівень антропогенного впливу [1; 2]. Вплив клімату й особливості догляду безпосередньо впливають на продуктивність соснових лісів [3].

Вік насаджень багато важить у формуванні біопродуктивності, переважно молоді дерева мають нижчу продуктивність

через конкуренцію, середньовікові — вищу завдяки оптимізації фотосинтезу, а зрілі досягають максимуму [4–6]. Водночас, кліматичні зміни, зокрема посухи, можуть значно знижувати продуктивність лісових екосистем [2; 7].

Незважаючи на значний обсяг досліджень, питання взаємозв'язку між віковою структурою лісів, їхньою біопродуктивністю та дією кліматичних чинників залишається недостатньо вивченим, особливо в контексті регіональних особливостей Полісся України. Крім того, енергетичний потенціал соснових насаджень як альтернативного джерела енергії потребує детальнішого аналізу з урахуванням локальних екологічних умов.

Метою даного дослідження є оцінка біологічної продуктивності та енергетичного потенціалу соснових деревостанів Полісся України в різних типах лісорослинних умов, а також визначення їх регіональних особливостей. Це дослідження спрямовано на вдосконалення методів оцінки екологічної ефективності лісових насаджень та розробку стратегій збереження і відновлення лісових екосистем в умовах глобальних екологічних викликів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Кліматичні зміни створюють значні виклики для соснових насаджень, впливаючи на їхню біопродуктивність, ріст, продуктивність і здатність до секвестрації вуглецю. Соснові ліси відіграють важливу роль у поглинанні вуглецю, але кліматичні зміни можуть послабити цю здатність.

В Україні оцінка фітомаси соснових лісів є інструментом для прогнозування їхнього розвитку та оптимізації лісгосподарських заходів. П.І. Лакида [4] розробив моделі прогнозування продуктивності залежно від фітофракцій, які актуальні й досі. Сучасні дослідження показують, що біопродуктивність залежить від кліматичних умов, типу ґрунту, віку насаджень і антропогенного навантаження, впливаючи на поглинання вуглецю та формування біомаси [8].

За останні 10 років А. Швиденко та ін. [9] підкреслили потенціал українських лісів у зниженні вуглецевого сліду, а М. Лесів та ін. [10] підтвердили їхню роль у контексті зміни клімату. В. Мороз та Ю. Никитюк [1] зазначили високу вуглецепоглиняльну здатність соснових насаджень Волинського Полісся, тоді як Р. Петраш із співавт. [11] спостерігали залежність щільності біомаси від екологічних умов. Такі вчені, як Д. Квеон і П. Г. Комо [3] в 2023 р. виявили вплив клімату й управління на продуктивність соснових лісів у Південній Кореї, а Т. Ванг та ін. [12] дослідили динаміку продуктивності в Тянь-Шані за річними кільцями.

Вік насаджень має неабияке значення: молоді дерева — нижчу продуктивність через конкуренцію, середньовікові — вищу завдяки фотосинтезу, а зрілі досягають максимуму [4]. Це підтверджують дослідження В. Zhou et al. [5] і Y. Li et al. [6]. Кліматичні зміни, зокрема посухи, зменшують продуктивність, як засвідчили G. Liobikiene et al. [7] та G. Sukhbaatar et al. [2].

Отже, дослідження останніми роками підкреслюють необхідність вивчення біопродуктивності соснових лісів для адаптації до кліматичних змін [4; 13].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для вивчення фітомаси стовбура та крони після складання переліку деревостанів здійснюється відбір модельних дерев. Відбір проводиться методом пропорційно-ступінчастого представництва з урахуванням типу деревостану: у змішаних деревостанах — 5–15 од.; у чистих деревостанах — 3–5 од.

Для оцінки фітомаси використовували показник базисної щільності (ρ_{bas} , кг/м³), який є інформативним і придатним для порівняння. Розрахунок здійснювали за формулою:

$$\rho_{bas} = m_0 / V_{nat}, \quad (1)$$

де m_0 — маса зразка фракції фітомаси в абсолютно сухому стані, кг; V_{nat} — об'єм зразка фракції фітомаси у свіжозрубаному стані, м³.

Фізичний зміст базисної щільності полягає у визначенні маси абсолютно сухої речовини в одиниці об'єму фракції фітомаси. Цей показник не залежить від вологості та слугує перевідним коефіцієнтом для трансформації об'ємних значень фітомаси в одиниці маси. Локальні значення базисної щільності окреслюються для окремих ділянок модельного дерева, після чого розраховуються середні значення для всієї моделі за відповідними алгоритмами.

Вологість фракцій фітомаси визначали в абсолютних (кг) та відносних (%) одиницях як проміжний показник. На основі вологості встановлювали відсоток сухої речовини у свіжозрубаний масі фракції. Відсоток вмісту сухої речовини (S , %) розраховували за формулою:

$$S = \left(1 - \frac{m_{nat} - m_0}{m_{nat}} \right) \times 100, \quad (2)$$

де m_{nat} — маса зразка фракції у свіжозрубаному стані, кг; m_0 — маса зразка фракції в абсолютно сухому стані, кг.

Сушіння зразків здійснювали в сушильній шафі СП-50С за температури 105°C. Вміст сухої речовини є ключовим показником для фракцій крони, об'єм яких оцінюється ваговим методом.

Фітомасу деревини й кори в абсолютно сухому стані визначали за формулою:

$$m = V \times \rho_{bas}, \quad (3)$$

де m — маса зразка фракції фітомаси в абсолютно сухому стані, кг; V — об'єм стовбура зразка, м³; ρ_{bas} — базисна щільність фракції фітомаси, кг/м³.

Об'єм стовбура (V , м³) розраховували за формулою:

$$V = g \times h \times f, \quad (4)$$

де g — площа поперечного перерізу стовбура на висоті 1,3 м, м²; h — висота стовбура дерева, м; f — старе видове число.

Площу поперечного перерізу (g) обчислювали як:

$$g = \frac{\pi \times d^2}{40000}, \quad (5)$$

де π — математична константа (3,14); d — діаметр на висоті 1,3 м, см; h — висота стовбура дерева.

Відсоток об'єму кори формується за нормативними та довідковими таблицями.

Для визначення фітомаси крони використовували «Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси деревостанів головних лісотвірних порід України» (Лакида, 2013) [14]. Отримані дані апроксимували емпіричним рівнянням множинної статистичної алометрії:

$$M = a_0 \times x_1^{a_1} \times x_2^{a_2}, \quad (6)$$

де a_0 , a_1 , a_2 — константи (похідні функції Кобба-Дугласа); x_1 — діаметр стовбура, см; x_2 — висота дерева, м.

Загальна фітомаса дерева (M_{fr}) виражалась як сума фітомаси окремих фракцій:

$$M_{fr} = m_{der} + m_k + m_{kr}, \quad (7)$$

де M_{fr} — загальна фітомаса фракцій дерева, кг; m_{der} — фітомаса деревини, кг; m_k — фітомаса кори, кг; m_{kr} — фітомаса крони, кг.

Фітомаса насадження (т/га) розраховувалась як сумарна фітомаса всіх дерев на одиницю площі.

Запас вуглецю визначали як кількість вуглецю в лісовій екосистемі на певний момент часу (вимірюється в тоннах вуглецю). За методикою ІРСС (2015), частка вуглецю становить 50% від фітомаси в абсолютно сухому стані; для хвої та листків (за Matthews, 1993) — 45% [15].

Оцінку киснепродуктивності проводили за методикою І. Лієпи [16] на основі рівняння фотосинтезу. За методикою коефіцієнт киснепродуктивності приймається як 1,4 т кисню на 1 т абсолютно сухої речовини деревних порід (без урахування фітомаси хвої).

Закладання тимчасових пробних площ здійснювали відповідно до СОУ 02.02.-37-476:206 [17]. Біометричні показники дерев визначали за допомогою висотоміра Forestry Pro та мирної вилки Haglof. Зразки фітомаси зважували в польових умовах, після чого висушували в лабораторії в сушильній шафі СП-50С за 105°C.

Для оцінки біологічної продуктивності враховували якісні характеристики фітомаси: щільність, вологість, вміст сухої речовини, співвідношення між фракціями (наприклад, відсоток кори чи листків).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Тимчасові пробні площі закладалися на територіях таких установ і організацій: Поліський природний заповідник, Селезівське лісництво; Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва імені П.С. Пастернака; Філія «Чортківське лісове господарство» ДП «Ліси України», Улашківське лісництво; Філія «Ярмолинецьке лісове господарство» ДП «Ліси України»; Національний природний парк «Пуща Радзивіла»; Навчально-науковий інститут лісового і садово-паркового господарства Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП), дослідна станція «Боярська ЛДС».

Закладання пробних площ здійснювалося в соснових насадженнях у різних типах лісорослинних умов. Загалом, було створено 40 пробних площ із сосновими деревостанами. Дослідження охоплювали насадження класів бонітету від 1а до 4 у таких типах лісорослинних умов: свіжий субір (В2); вологий субір (В3); свіжий сугруд (С2); вологий сугруд (С3).

На тимчасових пробних площах вік соснових деревостанів варіював у межах 46–120 років. Висота дерев становила 14–27 м, діаметр на висоті 1,3 м — 20–42 см, відносна повнота насаджень — від 0,51 до 0,90.

Для потреб статистичного та математичного моделювання було відібрано 128 модельних дерев сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.). Розподіл модельних дерев за типами лісорослинних умов був таким: свіжий субір (В2) — 35 дерев; вологий субір (В3) — 31 дерево; свіжий сугруд (С2) — 37 дерев; вологий сугруд (С3) — 25 дерев.

Цей підхід забезпечує репрезентативність вибірки для подальшого аналізу фітомаси та біологічної продуктивності соснових насаджень у різних екологічних умовах.

Для встановлення математичних залежностей між морфометричними характеристиками та фітомасою модельних дерев сосни застосовано регресійний аналіз із використанням степеневих функцій. Обчислення проводилися за допомогою інструментарію аналізу даних Microsoft Excel. Отримані результати систематизовано та подано у табличному форматі.

З метою визначення взаємозв'язків між дендрометричними параметрами (висотою та діаметром) і масою різних компонентів дерев у абсолютно сухому стані здійснено кореляційний аналіз. Для соснових насаджень, що зростають у різних лісорослинних умовах (В2, В3, С2, С3), розроблено кореляційні матриці. Як приклад, нижче наведено кореляційну матрицю для умов свіжого субору (В2) (табл. 1).

Аналіз матриці свідчить про високий рівень кореляційних зв'язків (0,755–0,999) між усіма розглянутими показниками в умовах В2. Аналогічні високі кореляційні залежності встановлено також для умов В3, С2 і С3.

Таблиця 1. Кореляційна матриця парних коефіцієнтів для соснових насаджень у типі лісорослинних умов В2

Показники	Висота, м	Діаметр, см	Фітомаса деревини, кг	Фітомаса кори, кг	Фітомаса крони, кг
Висота, м	1,000	—	—	—	—
Діаметр, см	0,801	1,000	—	—	—
Фітомаса деревини, кг	0,759	0,975	1,000	—	—
Фітомаса кори, кг	0,755	0,973	0,999	1,000	—
Фітомаса крони, кг	0,759	0,975	0,999	0,999	1,000

Таблиця 2. Показники регресійної статистики та дисперсійного аналізу для типу лісорослинних умов В2

Регресійна статистика					
Множинний R			0,999		
Коефіцієнт детермінації R^2			0,997		
Нормований R^2			0,997		
Стандартна помилка			0,014		
Спостереження			155		

Дисперсійний аналіз					
Показники	df (кількість ступенів свободи)	SS (сума квадратів відхилень)	MS (оцінка дисперсії)	F	Значимість F
Регресія	2	9,53	4,76	26082,3	$1,6 \times 10^{-193}$
Залишок	152	0,03	0,00		
Разом	154	9,56			

Показники	Коефіцієнти	Стандартна помилка	t – статистика	P – значення	Нижнє 95%	Верхнє 95%
Y – перетин, y	0,065	0,02	-62,20	$5,1 \times 10^{-110}$	-1,22	-1,15
Мінлива, x_1	1,90	0,02	91,71	$5,6 \times 10^{-135}$	1,86	1,94
Мінлива, x_2	0,68	0,03	25,01	$9,5 \times 10^{-56}$	0,62	0,73

Для виявлення степеневих залежностей між діаметром, висотою та загальною фітомасою дерев проведено регресійний і дисперсійний аналіз за допомогою пакета аналізу даних Microsoft Excel. Результати та аналіз для умов В2 представлено у табл. 2.

На основі отриманих даних побудовано степеневі рівняння загальної фітомаси сосни в різних типах лісорослинних умов (табл. 3).

Одержані рівняння можуть бути використані для подальших досліджень фіто-

маси соснових насаджень у різних лісорослинних умовах.

На основі емпіричних рівнянь (див. табл. 3), методології ІРСС (2015) та підходу І.Я. Лієпі встановлено вуглецепоглиняльну та киснетвірну здатність соснових дерев із середніми морфометричними показниками: діаметр 24 см, висота 34 м (за даними ДП «Ліси України»). Розрахунки виконано для різних типів лісорослинних умов (В2, В3, С2, С3), а результати візуалізовано на діаграмі (рис. 1).

Аналіз засвідчив, що за однакових діаметра та висоти найбільшу вуглецепоглиняльну здатність (158,8 кг) та киснепродуктивність (341,6 кг) демонструють сосни, що зростають у свіжому сугруді (С2). Це свідчить про оптимальність даних умов для накопичення біомаси та фотосинтетичної активності.

Враховуючи продуктивність фітомаси соснових деревостанів за адміністративними областями встановлено обсяги продукування вуглецю та продукування кисню (рис. 2).

Таблиця 3. Рівняння загальної фітомаси модельних дерев

У типах лісу	Формули	Коефіцієнт детермінації
Сосна		
В2	$y=0,065 \times d_1^{1,90} \times h_2^{0,676}$	0,997
В3	$y=0,757 \times d_1^{1,91} \times h_2^{-0,085}$	0,971
С2	$y=0,041 \times d_1^{1,85} \times h_2^{0,879}$	0,999
С3	$y=0,569 \times d_1^{1,50} \times h_2^{0,376}$	0,990

Рисунок чітко демонструє, що найвищі значення за всіма параметрами характерні для Київської обл. У цьому регіоні загальна фітомаса становить 7,2 млн т, поглинання вуглецю — приблизно 3,6 млн т, а продукування кисню сягає майже 9,4 млн т. Високі показники також спостерігаються у Житомирській та Рівненській обл., що вказує на значний внесок цих регіонів у екологічні процеси.

Дослідження фітомаси як альтернативного джерела енергії є актуальним у контексті сучасних енергетичних потреб. Хімічна енергія, накопичена у фітомасі, може бути трансформована у теплову енергію для виробництва електроенергії, тепла чи біопалива (наприклад, етанолу). Енергетичний потенціал (Дж) визначено на основі вмісту енергії в одній тонні вуглецю надземної фітомаси, який, за літературними даними, становить 35,76 ГДж/т ($1 \text{ ГДж} = 10^9 \text{ Дж}$).

Використовуючи емпіричні рівняння (див. табл. 2) та результати попереднього аналізу, розраховано енергетичний потен-

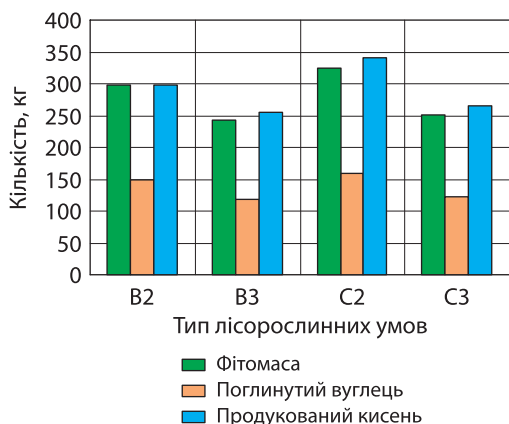


Рис. 1. Розподіл фітомаси, вуглецю та кисню у сосни звичайної в різних типах лісорослинних умов за $d=24 \text{ см}$, $h=34 \text{ м}$

ціал сосни звичайної залежно від лісорослинних умов (рис. 3).

Для соснових деревостанів найвищий енергетичний потенціал (5,7 ГДж) спостерігається у свіжому сугруді (C2), а найнижчий (4,2 ГДж) — у вологому суборі

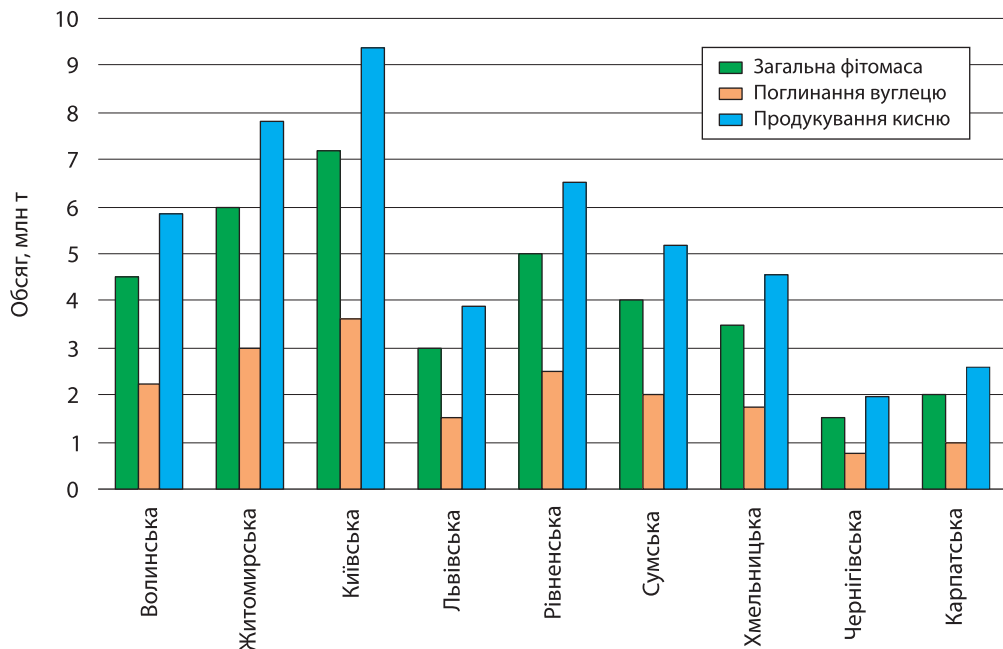


Рис. 2. Поглинання вуглецю та продукування кисню сосновими деревостанами за адміністративними областями

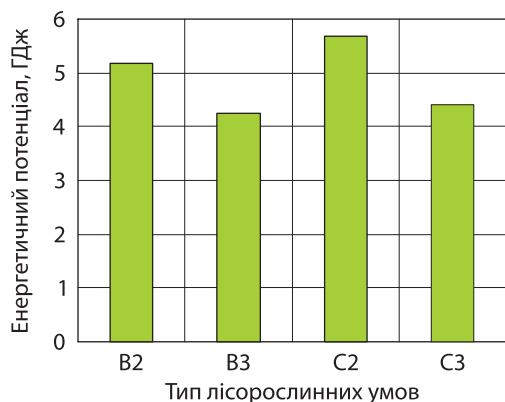


Рис. 3. Порівняння енергетичного потенціалу у соснових деревостанах за типами лісорослинних умов зростання

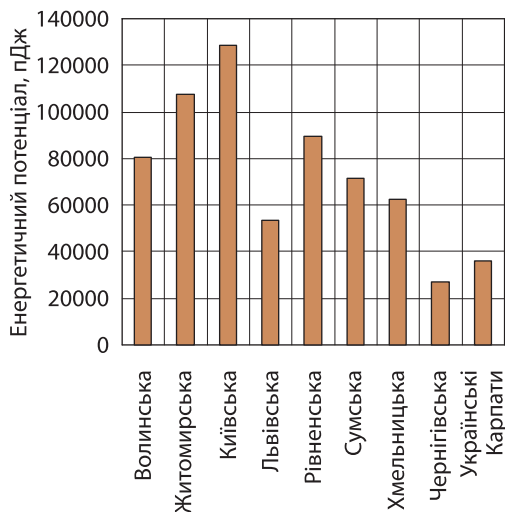


Рис. 4. Енергетичний потенціал соснових деревостанів за адміністративними областями

(B3). Це вказує на сприятливість умов C2 для накопичення енергії в соснових насадженнях, ймовірно, через оптимальні умови росту деревини.

Енергетичний потенціал соснових насаджень за адміністративними областями візуалізовано на діаграмі (рис. 4).

Найвищий енергетичний ресурс соснових лісів зосереджений у Київській

(128736 ГДж), Житомирській (107280) та Рівненській (89400 ГДж) обл. Найменший потенціал зафіксовано у Чернігівській обл. (26820 ГДж) та Українських Карпатах (35760 ГДж), що пояснюється меншими площами соснових насаджень. Регіони з високим потенціалом можуть бути перспективними для використання біомаси (наприклад, у вигляді паливних гранул чи дров) для енергетичних потреб.

ВИСНОВКИ

Встановлено, що біологічна продуктивність соснових деревостанів Полісся України істотно залежить від типу лісорослинних умов. Найвищі показники фітомаси (317,6 кг), вуглецепоглиняльної здатності (158,8 кг) та киснепродуктивності (341,6 кг) характерні для насаджень у свіжому сугруді (C2) за середніх морфометричних показників дерев (діаметр 24 см, висота 34 м).

Виявлено значні регіональні відмінності у розподілі фітомаси, поглинанні вуглецю та продукуванні кисню сосновими деревостанами. Найвищі показники зафіксовано у Київській (фітомаса — 7,2 млн т, поглинання вуглецю — 3,6, продукування кисню — 9,4 млн т), Житомирській та Рівненській обл.

Оцінка енергетичного потенціалу соснових деревостанів показала, що найвищі значення притаманні для насаджень у свіжому сугруді (C2) — 5,7 ГДж. Найвищий енергетичний ресурс соснових лісів виявлено у Київській (128736 ГДж), Житомирській (107280) та Рівненській (89400 ГДж) обл.

Результати дослідження підкреслюють необхідність диференційованого підходу до управління сосновими лісами з урахуванням типів лісорослинних умов та регіональних особливостей для оптимізації їх екологічних функцій та енергетичного потенціалу.

Отримані дані можуть бути застосовані для вдосконалення методів лісовпорядкування, розробки стратегій адаптації лісового господарства до кліматичних змін та оптимізації використання лісових ресурсів у контексті сталого розвитку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Moroz, V., & Nykytiuk, Y. (2020). Carbon absorption ability of pine forest plantations in Volyn Polissya. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 11(3), 4–14. DOI: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-86-1-61-70>.
2. Sukhbaatar, G., Ganbaatar, B., Jamsran, T., Purevragchaa, B., Nachin, B., & Gradel, A. (2020). Assessment of early survival and growth of planted Scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings under extreme continental climate conditions of northern Mongolia. *Journal of Forestry Research*, 31, 13–26. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00935-8>.
3. Kweon, D., & Comeau, P. G. (2023). Factors influencing productivity of pine-dominated stands in South Korea. *Journal of Environmental Management*, 330, 117250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117250>.
4. Лакида, П. І. (2002). *Фітомаса лісів України*. Тернопіль: Збруч.
5. Zhou, B., Liao, Z., Chen, S., Jia, H., Zhu, J., & Fei, X. (2022). Net primary productivity of forest ecosystems in the southwest karst region from the perspective of carbon neutralization. *Forests*, 13(9), 1367. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13091367>.
6. Li, Y., Nyongesah, M. J., Deng, L., Haider, F. U., Liu, S., Mwangi, B. N., ... Meng, Z. (2023). Clustered tree size analysis of bio-productivity of Dinghushan National Nature Reserve in China. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1118175. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1118175>.
7. Liobikiene, G., Chen, X., Streimikiene, D., & Balezentis, T. (2020). The trends in bioeconomy development in the European Union: Exploiting capacity and productivity measures based on the land footprint approach. *Land Use Policy*, 91, 104375. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104375>.
8. Lorenz, K., & Lal, R. (2010). *Carbon sequestration in forest ecosystems*. Dordrecht: Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3266-9>.
9. Швиденко, А., Лакида, П., Щепашенко, Д., Василюшин, Р., & Марчук, Ю. (2014). *Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: лісовий сектор*. Корсунь-Шевченківський: ФОП В. М. Гавриленко. URL: https://www.academia.edu/26396819/Вуглець_клімат_та_землеуправління_в_Україні_лісовий_сектор_Carbon_climate_and_land_use_in_Ukraine_Forest_sector.
10. Lesiv, M., Shvidenko, A., Schepaschenko, D., See, L., & Fritz, S. (2019). A spatial assessment of the forest carbon budget for Ukraine. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 24, 985–1006. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9795-y>.
11. Petráš, R., Mecko, J., Krupová, D., Slamka, M., & Pažitný, A. (2019). Aboveground biomass basic density of softwoods tree species. *Wood Research*, 64(2), 205–212. Retrieved from <https://www.woodresearch.sk/cms/aboveground-biomass-basic-density-of-softwoods-tree-species/>.
12. Wang, T., Bao, A., Xu, W., Zheng, G., Nzabarinda, V., Yu, T., ... Naibi Sulei. (2023). Dynamics of forest net primary productivity based on tree ring reconstruction in the Tianshan Mountains. *Forest Ecology and Management*, 529, 120637. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109713>.
13. Лакида, П. І. (2019). *Стале лісокористування в Україні*. Київ: Вид-во НУБіП України.
14. Лакида, П. І., та ін. (2013). *Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси деревостанів головних лісотвірних порід України*. Корсунь-Шевченківський: ФОП Гавришенко В. М.
15. Matthews, G. (1993). *The carbon contents of trees*. Edinburgh: Forestry Commission.
16. Лиєпа, И. Я. (1980). *Динамика древесных запасов: прогнозирование и экология*. Рига: Зинатне.
17. Мінагрополітики України (2006). СОУ 02.02-37-476:2006. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання: стандарт Мінагрополітики України. Київ: М-во аграр. політики України.

Стаття надійшла до редакції журналу 27.12.2024