

## ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ, РОЗВИТКУ ТА КЛІМАТОСТАБІЛІЗУВАЛЬНЕ ЗНАЧЕННЯ СОСНОВИХ НАСАДЖЕНЬ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

В.В. Мороз<sup>1</sup>, Н.М. Стасюк<sup>2</sup>, Л.М. Тимошенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Поліський національний університет (м. Житомир, Україна)  
e-mail: vera\_moroz@ukr.net; ORCID: 0000-0002-1457-4641

<sup>2</sup> Інститут агроекології і природокористування НААН (м. Київ, Україна)  
e-mail: wien@ukr.net; ORCID: 0000-0002-9184-4078  
e-mail: pion060917@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4648-8307

*Визначено особливості росту та розвитку соснових лісових насаджень в Українських Карпатах за лісгосподарськими округами: Передкарпатському, Гірськокарпатському та Закарпатських рівнин і передгір'я. Запропоновано математичні залежності росту та розвитку сосни за віком, висотою й діаметром. За одержаними математичними емпіричними залежностями встановлено, що сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) краще росте і розвивається у Гірськокарпатському лісорослинному окрузі. У цьому лісорослинному окрузі ріст сосни переважає на 2% за Передкарпатський округ, а за Закарпатських рівнин і передгір'я на 1%. За повнотою у Гірськокарпатському лісорослинному окрузі діаметр сосни є вищий за Передкарпатський округ на 3%, а Закарпатських рівнин і передгір'я — 1%. За допомогою пакета аналізу даних Microsoft Excel побудовані кореляційні матриці та проведено регресійний та дисперсійний аналіз таких показників, як: вік, висота, діаметр, фітомаса — деревини, кори та крони. Отримано математичні рівняння, що надали змогу встановити біологічну продуктивність *Pinus sylvestris* L. За допомогою одержаних емпіричних рівнянь за методиками IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2015), G. Matthews (1993) та І.Я. Ліснє (1980) встановлено вуглецепоглиняльну та киснетвірну здатність соснових деревних насаджень у віці 70 років на площі 1 га. Визначено, що на площі 1 га соснові насадження найбільше поглинають вуглець — 88,9 т, та продукують кисень — 262,2 т у Гірськокарпатському лісгосподарському окрузі, у Передкарпатському лісгосподарському окрузі 76,0 т вуглецю та 224,1 т кисню, у Закарпатських рівнин і передгір'я сосна звичайна поглинає 69,5 т вуглецю та продукує 204,9 т кисню. Проаналізовано кількість викидів CO<sub>2</sub> в навколишнє середовище в умовах Українських Карпат, встановлено, що соснові ліси на 34% зменшують викиди діоксиду вуглецю.*

**Ключові слова:** вуглець, кисень, фітомаса, рівняння, CO<sub>2</sub>.

### ВСТУП

Головним резервуаром біологічно зв'язаного вуглецю є ліси (містять до 500 млрд т), що становить 2/3 його запасу в атмосфері. За утворення 1 т абсолютно сухої ваги рослинної продукції зв'язується 1,5–1,8 т вуглекислого газу і вивільняється 1,1–1,3 т кисню. Площа 1 га середньопродуктивного лісонасадження акумулює за рік 6–7 т вуглекислого газу і виділяє в атмосферу 5–6 т кисню. З усієї маси вуглецю, що знаходиться в рослинності, найбільша його кількість зосереджена в лісових екосистемах —

92%. У рослинах всіх інших екосистем акумульовано лише близько 7% вуглецю, а в рослинних організмах океану — менше ніж 1% [1–6].

Зрозуміло, що розширення площ під лісами, як і підвищення їх продуктивності, сприяло б якщо не нейтралізації, то уповільненню процесів накопичення вуглецю в атмосфері, оскільки лісові насадження є головним наземним поглиначем вуглекислого газу. Збільшення площ насаджень і покращання їх біопродуктивності за допомогою раціонального ведення лісового господарства сприяло б поліпшенню клімату на планеті [1; 7–9].

Враховуючи участь України в Паризькій угоді, і зобов'язаннях, які стоять перед Україною щодо покращання клімату і зменшення обсягів викиду  $\text{CO}_2$ , є необхідність у наукових дослідженнях з вуглецепоглиальної та киснепродуктивної здатності лісових насаджень України.

Мета наших досліджень полягає у розробленні математичних залежностей для визначення особливостей росту та розвитку соснових насаджень у трьох лісгосподарських округах Українських Карпат, у встановленні їх кліматостабілізувального значення (вуглецепоглиального та киснепродуктивного), визначенні кількості зниження  $\text{CO}_2$  у навколишньому середовищі Карпат за рахунок вуглецепоглиальної здатності соснових лісів.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Кліматостабілізувальне значення деревних рослин визначають через моделювання їх біопродуктивної здатності з подальшим визначенням вуглецепоглиальної та киснепродуктивної можливості.

Вітчизняні вчені, зокрема П.І. Лакида (2006, 2009, 2011), С.І. Миклуш (2011), М.А. Голуб (2003), В.І. Білоус (2009), В.П. Пастернак (2011), Р.Д. Васишин (2014) та ін., розробили методи оцінки біологічної продуктивності лісових насаджень. Наукові дослідження цих вчених ми доповнили дослідженнями Г.Г. Гриника, А.І. Задорожного, В.М. Ловинської, С.А. Ситника, 2019 [2; 11–14], та дослідженнями іноземних науковців А.І. Уткина, Б.П. Чуракова, Е.В. Манякіна, Л.М. Гитарського, А.В. Іванова та ін. [12–16] та удосконалили методами математичного моделювання [17].

За проведеними нами науковими дослідженнями опубліковано низку наукових статей у вітчизняних і закордонних журналах [4–6; 18–21].

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для встановлення екологічної ролі соснових насаджень, збір дослідного матеріалу проводився в державних підприємств-

вах (ДП), що розташовані в лісгосподарських округах, в яких здійснювались дослідження: в Передкарпатському лісгосподарському окрузі це – (ДП) Коломийське лісове господарство (ЛГ), Івано-Франківське ЛГ, Дрогобицький ЛГ, Старосамбірське ЛМГ, Сторожинецький держлісгосп, СЛАП «Сторожинецький держспецлісгосп», Глибоцький держспецлісгосп АПК, Чернівецький ЛГ, Вигодське ЛГ, Кіцманський ліс АПК; в Гірськокарпатському лісгосподарському окрузі – ДП «Великобerezнянське ЛГ», ДП «Верхньогірське ЛГ», ДП «Турківське ЛГ», ДП «Славське ЛГ», ДП «Сколівське ЛГ», ДП «Вижницький держспецлісгосп АПК», ДП «Боринське ЛГ», ДП «Кутське ЛГ»; в лісгосподарському окрузі Закарпатських рівнин і передгір'я – ДП «Виноградівське ЛГ», ДП «Довжанський лісгосп», ДП «Тячівське ЛГ», ДП «Хустське ЛДГ», ДП «Брустурянське ЛМГ», ДП «Іршавський лісгосп», ДП «Моркянське ЛМГ», ДП «Міжгірське ЛГ» відповідно.

Тимчасові пробні площі закладали у соснових насадженнях згідно з СОУ 02.02–37–476:2006 «Пробні площі лісовпорядні. Метод закладання».

За біометричними показниками (вік, висота, діаметр) визначали ріст та повноту соснових насаджень Карпатського регіону за лісгосподарськими округами. Першим кроком для встановлення вуглецепоглиальної та киснепродуктивної ролі є встановлення біомаси дерева, яка відіграє істотну роль у процесі фотосинтезу дерева. Її визначали за формулою:

$$m = V \times \rho_{\text{bas}}, \quad (1)$$

де  $\rho_{\text{bas}}$  – базисна щільність фракції фітомаси,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $m$  – маса зразка фракції фітомаси в абсолютно сухому стані,  $\text{кг}$ ;  $V$  – об'єм стовбура зразка залежно від діаметра та висоти,  $\text{м}^3$ .

Базисну щільність фракцій фітомаси ( $\rho_{\text{bas}}$ ) використовували за опублікованими даними таких авторів, як О.І. Полубояринов, П.І. Лакида [9; 22].

Об'єм кори, деревини визначали за нормативно-довідковими таблицями (Кашпор, Строчинський; 2013) [23].

Для встановлення фітомаси крони сосни звичайної використано рівняння, яке запропонував А.С. Аткін [24]:

$$P_{\text{крони}} = 8,379 + 0,087 \times P_{\text{стовбура}}, \quad (2)$$

де  $P_{\text{крони}}$  – фітомаса крони, кг;  $P_{\text{стовбура}}$  – фітомаса стовбура, кг.

Отримані дані були апроксимовані емпіричним рівнянням множинної статистичної алометрії [9; 17], яке описує залежності компонентів фітомаси дерева від його морфометричних показників (висота, діаметр):

$$y = a_0 \times x_1^{a_1} \times x_2^{a_2} \times \dots \times x_n^{a_n}, \quad (3)$$

де  $a_0, a_1, a_2$  – константи, відомі в економетрії як похідна функції Кобба-Дугласа;  $x_1, x_2, x_n$  – морфометричні показники дерева, у нашому випадку  $x_1$  – діаметр, см;  $x_2$  – висота, м.

Фітомасу насадження (т/га) визначали як фітомасу всіх дерев у насадженні на одиниці площі.

Для швидкого визначення біопродуктивності деревостану нами розроблено конверсійні коефіцієнти за рівнянням [9]:

$$R_V = M_{\text{fr}} / M = a \times A^b, \quad (4)$$

де  $R_V$  – конверсійний коефіцієнт, т/м<sup>3</sup>;  $M_{\text{fr}}$  – фітомаса певної фракції деревостану, т/га;  $M$  – запас деревини у корі, м/га;  $a, b$  – постійні коефіцієнти регресії;  $A$  – вік насадження, роки.

Частка вуглецю в фітомасі в абсолютно сухому стані, за методикою IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2015), становить 50% фітомаси фракцій в абсолютно сухому стані. G. Matthews (1993) запропонував для хвої використовувати частку 45% [8].

Оцінку киснепродуктивності в лісонасадженнях здійснено за методикою І.Я. Лієпи [25].

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Залежно від кліматичних та географічних умов зростання залежить ріст і повнота деревних рослин. Беручи до уваги одержані показники щодо деревної таксації на тимчасових пробних площах, нами отри-

мані математичні рівняння росту та розвитку (за діаметром) соснових насаджень Українських Карпат за лісогосподарськими округами:

Передкарпатський лісогосподарський округ:

$$h = 9,63 \times \ln(A) - 17,4; R^2 = 0,803, \quad (5)$$

$$d = 13,4 \times \ln(A) - 26,7; R^2 = 0,853. \quad (6)$$

Гірськокарпатський лісогосподарський округ:

$$h = 9,46 \times \ln(A) - 16,2; R^2 = 0,765, \quad (7)$$

$$d = 13,9 \times \ln(A) - 27,5; R^2 = 0,805. \quad (8)$$

Лісогосподарський округ Закарпатських рівнин і передгір'я:

$$h = 9,37 \times \ln(A) - 16,1; R^2 = 0,855, \quad (9)$$

$$d = 13,9 \times \ln(A) - 27,7; R^2 = 0,929. \quad (10)$$

де  $h$  – висота дерева, м;  $d$  – діаметр дерева, см,  $A$  – вік дерева, роки.

Високі коефіцієнти детермінації рівнянь (0,765–0,929) свідчать про достатню апроксимацію та можливість їх подальшого використання з метою прогнозування росту та розвитку сосни в умовах Українських Карпат за лісогосподарськими округами.

За одержаними рівняннями побудовано графіки залежності (рис. 1).

Згідно з одержаними результатами аналізу (див. рис. 1), можна стверджувати, що сосна звичайна краще росте і розвивається у Гірськокарпатському лісогосподарському окрузі, показник висоти за віком в середньому вищий на 2% за показник Передкарпатського округу і на 1% у Закарпатських рівнин і передгір'я, а показник за діаметром вищий на 3% і 1% відповідно.

Для встановлення кореляційних взаємозв'язків між таксаційними показниками та фітомасою різних фракцій хвойних дерев, за допомогою пакета аналізу даних Microsoft Excel, побудовано кореляційні матриці для сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) для кожного лісогосподарського округу окремо (табл. 1).

Між показниками фітомаси та біометричними показниками (висота, діаметр, вік) у соснових насадженнях спостеріга-

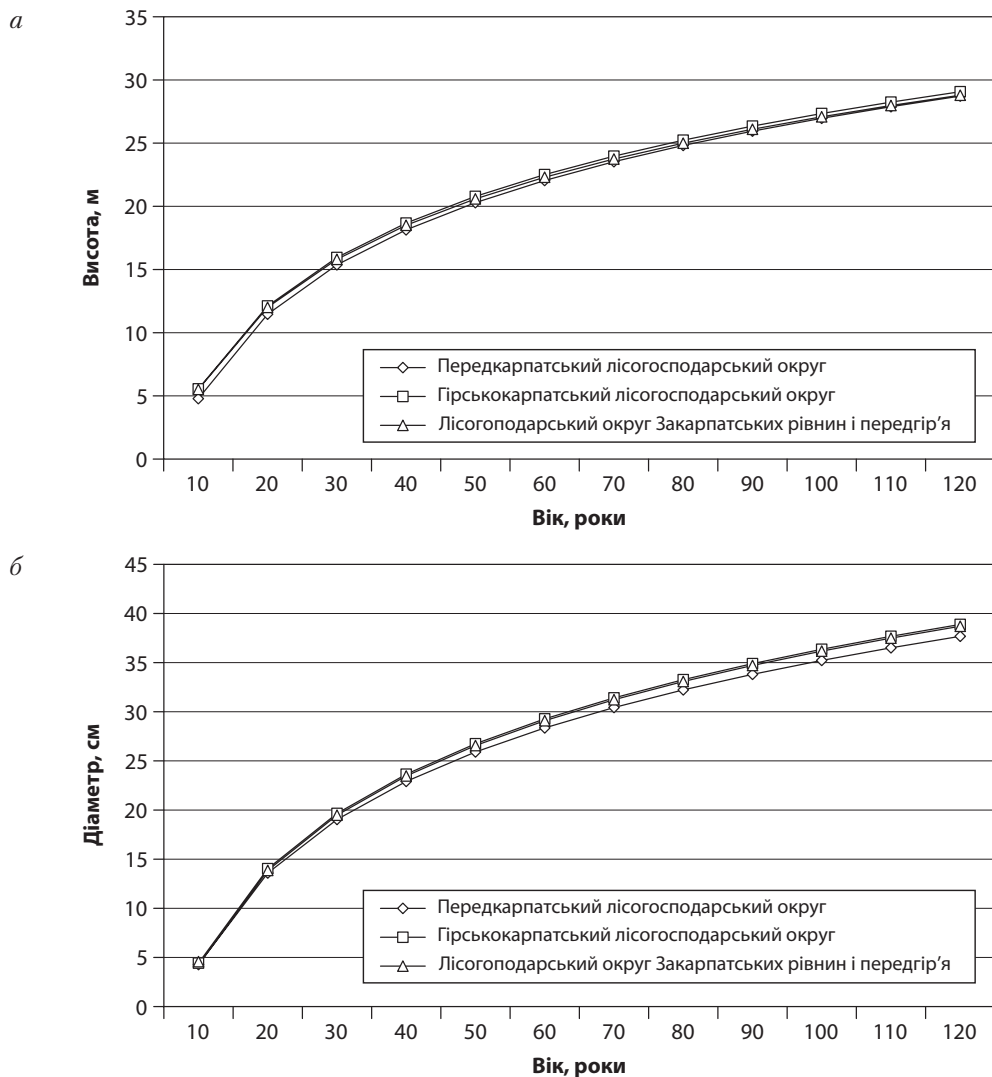


Рис. 1. Залежності за рівняннями:

*а* – середньої висоти сосни від її віку; *б* – середнього діаметра сосни від її віку

ється кореляційний взаємозв'язок у межах 0,533–0,999.

Для одержання степеневих рівнянь для соснових насаджень прологарифмовано всі показники та здійснено пошук залежностей між фітомасою деревини й біометричними показниками за допомогою регресійного аналізу. Результати розрахунків представлено у *табл. 2 і 3*.

Повертаємо до початкової функції показник  $Y$ , та одержуємо:  $\ln 10(-1,63)=0,02$ .

Згідно з функцією Кобба–Дугласа степеневе рівняння буде мати вигляд:

$$y = 0,02 \times x_1^{1,92} \times x_2^{0,910}, \quad (11)$$

де  $y$  – середня фітомаса деревини сосни, кг;  $x_1$  – діаметр дерева, см;  $x_2$  – висота дерева, м.

Таблиця 1. Матриця парних коефіцієнтів кореляції соснових насаджень

Показники	Вік, років	Середня висота, м	Середній діаметр, см	Середня фітомаса деревини, кг	Середня фітомаса кори, кг	Середня фітомаса крони, кг
<i>Передкарпатського лісогосподарського округу</i>						
Вік, р.	1,00	—	—	—	—	—
Середня висота, м	0,815	1,00	—	—	—	—
Середній діаметр, см	0,813	0,813	1,00	—	—	—
Середня фітомаса деревини, кг	0,803	0,807	0,982	1,00	—	—
Середня фітомаса кори, кг	0,798	0,809	0,983	0,999	1,00	—
Середня фітомаса крони, кг	0,803	0,807	0,982	0,999	0,999	1,00
<i>Гірськокарпатського лісогосподарського округу</i>						
Вік, р.	1,00	—	—	—	—	—
Середня висота, м	0,797	1,00	—	—	—	—
Середній діаметр, см	0,837	0,809	1,00	—	—	—
Середня фітомаса деревини, кг	0,907	0,888	0,971	1,00	—	—
Середня фітомаса кори, кг	0,882	0,908	0,970	0,997	1,00	—
Середня фітомаса крони, кг	0,905	0,889	0,971	0,999	0,997	1,00
<i>Лісогосподарський округ Закарпатських рівнин і передгір'я</i>						
Вік, р.	1,00	—	—	—	—	—
Середня висота, м	0,533	1,00	—	—	—	—
Середній діаметр, см	0,781	0,722	1,00	—	—	—
Середня фітомаса деревини, кг	0,816	0,850	0,965	1,00	—	—
Середня фітомаса кори, кг	0,802	0,852	0,964	0,999	1,00	—

Отже, збільшення діаметра дерева на 1,92% і висоти на 0,910%, має безпосередній вплив на збільшення фітомаси дерева.

Міра визначеності дорівнює 0,999, що вказує на достатню апроксимацію отриманого степеневого рівняння з вихідними показниками. Множинний  $R$  є достатньо високим і дорівнює 0,999. Згідно з дисперсним аналізом, рівняння є значущим на 5% рівні, тому що значущість  $F$  є менше ніж 0,05.

Одержане степеневе рівняння буде мати вигляд:

$$y = 0,004 \times x_1^{1,81} \times x_2^{0,835}, \quad (12)$$

де  $y$  — середня фітомаса кори сосни, кг;  $x_1$  — діаметр дерева, см;  $x_2$  — висота дерева, м.

Коефіцієнт детермінації  $R^2$  є достатньо високим 0,998, що вказує на вірогідність

рівняння. Кореляційний зв'язок (множинний  $R$ ) між показниками високий 0,999. Дисперсійний аналіз вказав, що рівняння є значущим на 5% рівні, значущість  $F$  є менше ніж 0,05.

Аналогічним аналізом одержані рівняння для визначення фітомаси кори та деревини сосни:

- у Гірськокарпатському лісогосподарському окрузі:

- для деревини сосни звичайної:

$$y = 0,03 \times x_1^{1,98} \times x_2^{0,833}, R^2 = 0,999, \quad (13)$$

- для кори сосни звичайної:

$$y = 0,04 \times x_1^{1,69} \times x_2^{0,939}, R^2 = 0,996, \quad (14)$$

- у округу Закарпатських рівнин і передгір'я:

- для деревини сосни звичайної:

$$y = 0,059 \times x_1^{1,61} \times x_2^{0,955}, R^2 = 0,984, \quad (15)$$

Таблиця 2. Показники регресійної статистики та дисперсного аналізу деревини сосни звичайної у Передкарпатському лісогосподарському окрузі

Показники		Коефіцієнти	Стандартна помилка	t – статистика	P – значення	Нижнє 95%	Верхнє 95%
Y – перетин	ln10(y)	-1,63	0,01	-161,40	0,00	-1,65	-1,61
Мінлива	x1	1,93	0,01	178,27	0,00	1,90	1,95
Мінлива	x2	0,91	0,01	65,65	0,00	0,88	0,94

Таблиця 3. Показники регресійної статистики та дисперсного аналізу кори сосни звичайної у Передкарпатському лісогосподарському окрузі

Показники		df (кількість ступенів волі)	SS (сума квадратів відхилень)	MS (оцінка дисперсії)	F	Значимість F	
Регресія		2	1,99	0,998522	95488,2	1,6×10 <sup>-40</sup>	
Залишок		20	0,000209	1,0×10 <sup>-5</sup>			
Разом		22	1,997254				

Показники		Коефіцієнти	Стандартна помилка	t – статистика	P – значення	Нижнє 95%	Верхнє 95%
Регресія		Множинний R			0,999		
Залишок		Коефіцієнт детермінації R <sup>2</sup>			0,998		
Разом		Нормований R <sup>2</sup>			0,998		
		Стандартна помилка			0,01		
		Спостереження			23		

Таблиця 4. Числові значення конверсійних коефіцієнтів соснових насаджень

Фракції фітомаси, кг	Значення коефіцієнтів		Коефіцієнт детермінації, $R^2$
	$a$	$b$	
<i>Передкарпатського лісогосподарського округу</i>			
Деревина	0,348	0,021	0,802
Кора	0,061	-0,155	0,808
Крона	0,605	-0,606	0,633
<i>Гірськокарпатського лісогосподарського округу</i>			
Деревина	0,346	0,022	0,796
Кора	0,064	-0,169	0,796
Крона	0,204	-0,352	0,699
<i>Лісогосподарський округ Закарпатських рівнин і передгір'я</i>			
Деревина	0,368	0,008	0,765
Кора	0,041	-0,061	0,764
Крона	0,079	-0,132	0,636

– для кори сосни звичайної:

$$y = 0,01 \times x_1^{1,42} \times x_2^{0,843};$$

$$R^2 = 0,985. \quad (16)$$

Для встановлення конверсійних коефіцієнтів застосовано рівняння 4 та отримано числові значення, які наведено у табл. 4.

Одержані емпіричні рівняння апроксимуються на 63–81% з фактичними даними, тому їх можна використовувати в подальших дослідженнях.

За допомогою одержаних математичних залежностей за рівнянням (4), показники якого наведено у табл. 4 та методикою G. Matthews і І.Я. Лієпи встановлено вуглецепоглиняльну та киснетвірну здатність насаджень *Pinus sylvestris* L. у віці 70 років на площі 1 га. До того ж, середній запас соснових насаджень у Передкарпатському лісогосподарському окрузі сягає 350 м<sup>3</sup>/га, Гірськокарпатському – 410 м<sup>3</sup>/га, округу Закарпатських рівнин і передгір'я – 320 м<sup>3</sup>/га (рис. 2).

Отже, враховуючи всі показники встановлено, що у Передкарпатському лісогосподарському окрузі на площі 1 га *Pinus sylvestris* L. поглинає 76,0 т вуглецю та продукує 224,1 т кисню, у Гірськокарпатському лісогосподарському окрузі – поглинає 88,9 т вуглецю та продукує 262,2 т кисню, а у лісогосподарському окрузі Закарпатських рівнин і передгір'я сосна звичайна поглинає 69,5 т вуглецю та продукує 204,9 т кисню.

Згідно з показниками Державного лісового кадастру станом на 1 січня 2011 р. (Форма № 2), запас соснових Українських Карпат сягає 26,6 млн м<sup>3</sup>. Отже, загальна кількість поглину-

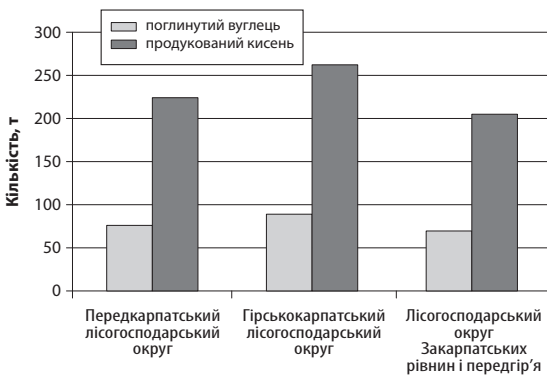


Рис. 2. Кількість поглинання вуглецю та продукування кисню сосновими насадженнями у віці 70 років на площі 1 га

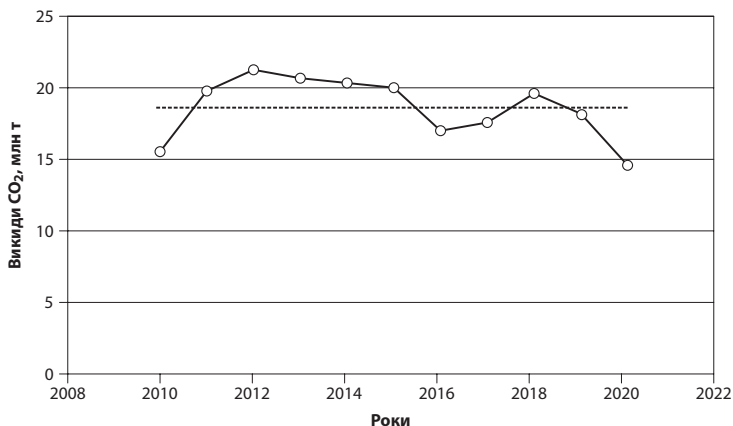


Рис. 3. Викиди CO<sub>2</sub> в Українських Карпатах за період 2010–2020 рр.

того вуглецю та продукованого кисню в Українських Карпатах становить 6,1 млн т і 12,9 млн т відповідно.

За даними головного управління статистики ми встановили, що головним джерелом забруднення CO<sub>2</sub> є автотранспорт, середня кількість викидів впродовж 2010–2020 рр. становить 18,6 млн т (рис. 3).

Враховуючи кількість викидів CO<sub>2</sub> в навколишнє природне середовище та кількість поглинання вуглецю, можна стверджувати, що соснові насадження відіграють важливе кліматостабілізувальне значення, зменшуючи обсяги викидів вуглекислого газу на 32%.

## ВИСНОВКИ

Під час математичного моделювання за допомогою кореляційного та регресійного аналізу одержані рівняння з високим коефіцієнтом детермінації, що дало змогу

встановити вуглецепоглиняльну та киснетвірну здатність сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) у Карпатському регіоні.

Встановлено, що сосна звичайна найкраще росте й розвивається у Передкарпатському лісгосподарському окрузі, де на 1,5% є вищою, ніж в інших лісгосподарських округах, а за діаметром ширша на 2%.

З'ясовано, що у віці 70 років на площі 1 га соснові насадження найбільше поглинають вуглець у межах 88,9 т, та продукують кисень — 262,2 т у Гірськокарпатському лісгосподарському окрузі.

Визначено, що загальна кількість поглинутого вуглецю та продукованого кисню сосновими насадженнями в Українських Карпатах становить 6,1 млн т і 12,9 млн т відповідно.

Встановлено, що соснові насадження на 34% зменшують викиди CO<sub>2</sub> в умовах Українських Карпат.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Букша І.Ф., Бутрим О.В., Пастернак В.П. Інвентаризація парникових газів у секторі землекористування та лісового господарства: моногр. Харків: ХНАУ, 2008. 232 с.
2. Гриник Г.Г., Задорожний А.І. Моделі динаміки надземної фітомаси дерев ялини європейської залежно від їхніх таксаційних показників у переважаних типах лісорослинних умов Полонинського хребта Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28. № 2. С. 9–19. DOI: <https://doi.org/10.15421/40280201>.
3. Кучерявий В.П. Екологія. Львів: Світ, 2000. 500 с.
4. Мороз В.В., Стасюк Н.М. Екологічне значення хвойних лісів у Передкарпатському лісгосподарському окрузі. *Annali d'Italia. Scientific Journal of Italy*. 2020. № 14. Т. 1. С. 10–15.
5. Мороз В.В., Стасюк Н.М. Екологічне значення хвойних лісів у лісгосподарському окрузі Закарпатських рівнин і передгір'я. *Sciences of Europe*. 2020. № 59. Т. 2. С. 24–30.
6. Мороз В.В., Стасюк Н.М., Петрів С.М. Екологічне значення хвойних лісів у Гірськокарпатському



- му лісгосподарському округу. *Journal of science. Lyon*. 2020. № 14. Т. 1. С. 12–18.
7. Букша И.Ф. Изменение климата и лесное хозяйство. *Актуальні проблеми сьогодення*. Львів: РВВ НЛТУ України. 2009. Вип. 7. С. 11–17.
  8. Matthews G. The Carbon Contents of Trees. Forestry Commission, Tech. Paper 4. Edinburgh, 1993. 21 p.
  9. Лакида П.І. Фітомаса лісів України: моногр. Тернопіль: Збруч. 2002. 256 с.
  10. Ловинська В.М. Локальна щільність компонентів фітомаси стовбура сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) Північного Степу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2018. Вип. 3. С. 73–78. DOI: <https://doi.org/10.15421/40280816>.
  11. Ловинська В.М. Надземна фітомаса стовбурів *Pinus Sylvestris* L. у деревостанах Північного Степу України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28. № 8. С. 79–82. DOI: [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2018-3\(99\)-12](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2018-3(99)-12).
  12. Ситник С.А. Моделивання компонентів фітомаси стовбурів робінієвих деревостанів Північного Степу України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29. № 3. С. 48–51. DOI: <https://doi.org/10.15421/40290310>.
  13. Гитарский М.Л. и др. Поток углерода от валежа южно-таежных лесов Валдайской возвышенности. *Экология*. 2017. № 6. С. 447–453. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0367059717060063>.
  14. Иванов А.В. и др. Эмиссия углерода с поверхности валежа в кедровых лесах Южного приморья. *Экология*. 2018. № 4. С. 275–281. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0367059718040042>.
  15. Уткин А.И. и др. Определение запасов углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионного-объемного методов. *Лесоведение*. 1997. № 5. С. 51–65.
  16. Чураков Б.П., Манякина Е.В. Депонирование углерода разновозрастными культурами сосны. *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2012. № 1. С. 125–129.
  17. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.
  18. Мороз В.В., Никитюк Ю.А. Вуглецепоглинальна здатність соснових лісових насаджень Волинського Полісся. *Наукові горизонти*. 2020. № 1 (86). С. 61–70. DOI: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-86-1-61-70>.
  19. Мороз В.В., Никитюк Ю.А. Вуглецепоглинальна здатність соснових лісових насаджень Чернігівського Полісся. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. № 1. С. 90–99. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.01.10>.
  20. Мороз В.В., Никитюк Ю.А. Вуглецепоглинальна здатність соснових лісових насаджень Житомирського Полісся. *Зрошуване землеробство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник*. Херсон. 2020. Вип. 73. С. 43–50. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.73.13>.
  21. Moroz V.V. et al. Carbon Absorption Ability of Pine Forest Plantations in the Ukrainian Polissya. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. № 10 (2). P. 249–255.
  22. Полубояринов О.И. Плотность древесины. Москва: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
  23. Кашпор С.М., Строчинський А.А. Лісотаксаційний довідник. Київ: Вид. дім «Вініченко», 2013. 496 с.
  24. Аткин А.С., Аткина Л.И. Способ и динамика органической массы в лесных сообществах. Екатеринбург: Изд. УГЛТА. 1999. 108 с.
  25. Лица И.Я. Динамика древесных запасов: прогнозирование и экология. Рига: Зинатне, 1980. 172 с.

## REFERENCES

1. Buksha, I.F., Butrym, O.V. & Pasternak, V.P. (2008). *Inventaryzatsiya parnykovykh haziv u sektori zemlekorystuvannya ta lisovoho hospodarstva [Inventory of greenhouse gases in the land use and forestry sector]*. Kharkiv: KHNAU [in Ukrainian].
2. Hrynyk, N.H. & Zadorozhnyy, A.I. (2018). Modeli dynamiky nadzemnoi fitomasy derev yalyny yevropeiskoi zalezchno vid yikhnikh taksatsiinykh pokaznykiv u perevazhaiuchykh typakh lisoroslynnykh umov Polonynskoho khrehta Ukrainykykh Karpat [Models of dynamics of aboveground phytomass of European spruce trees depending on their taxonomic indicators in the predominant types of forest vegetation conditions of the Polonyn ridge of the Ukrainian Carpathians]. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28 (2), 9–19. DOI: <https://doi.org/10.15421/40280201> [in Ukrainian].
3. Kucheryavyy, V.P. (2000). *Ekolohiya [Ecology]*. Lviv: Svit, 500 [in Ukrainian].
4. Moroz, V.V. & Stasyuk, N.M. (2020). Ekolohichne znachennya khvoynykh lisiv u Peredkarpat's'komu lisohospodars'komu okruhu [Ecological significance of coniferous forests in the Pre-Carpathian forestry district]. *Annali d'Italia. Scientific Journal of Italy*, 14 (1), 10–15 [in Italy].
5. Moroz, V.V. & Stasyuk, N.M. (2020). Ekolohichne znachennya khvoynykh lisiv u lisohospodars'komu okruhu Zakarpat-s'kykh rivnyh i peredhir'ya [Ecological significance of coniferous forests in the forestry district of Transcarpathian plains and foothills]. *Sciences of Europe*, 59 (2), 24–30 [in Czech Republic].
6. Moroz, V.V., Stasyuk, N.M. & Petriv, S.M. (2020). Ekolohichne znachennya khvoynykh lisiv u Hirs's'kokarpat-s'komu lisohospodars'komu okruhu [Ecological significance of coniferous forests in the Mountain-Carpathian forestry district]. *Journal of science Lyon*, 14 (1), 12–18 [in France].
7. Buksha, Y.F. (2009). Yzmenenye klymata y lesnoe khozyaystvo. Aktual'ni problemy s'ohodennya [Climate change and forestry. Current issues of today]. *Lviv: RVV NLTU Ukrainy – Lviv: RVV NLTU Ukrayiny*, 7, 11–17 [in Ukrainian].
8. Matthews, G. (1993). The Carbon Contents of Trees.

- Forestry Commission, Tech. Paper 4. Edinburgh [in Scotland].
9. Lakyda, P.I. (2002). *Fitomasa lisiv Ukrayiny [Phytomass of forests of Ukraine]*. Ternopil: Zbruch [in Ukrainian].
  10. Lovynska, V.M. (2018). Lokalna shchilnist komponentiv fitomasy stovbura sosny zvychainoi (*Pinus sylvestris* L.) Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Local density of phytomass components of Scots pine trunk (*Pinus sylvestris* L.) of the Northern Steppe of Ukraine]. *Visnyk ahrarynoi nauky Prychornomor'ia – Bulletin of Agrarian Sciences of the Black Sea Region*, 3, 73–78. DOI: <https://doi.org/10.15421/40280816> [in Ukrainian].
  11. Lovynska, V.M. (2018). Nadzemna fitomasa stovburiv *Pinus Sylvestris* L. u derevostanakh pivnichnoho stepu Ukrainy [Aboveground phytomass of *Pinus Sylvestris* L. trunks in the stands of the northern steppe of Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, 28 (8), 79–82. DOI: [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2018-3\(99\)-12](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2018-3(99)-12) [in Ukrainian].
  12. Sytnyk, S.A. (2019). Modeliuvannia komponentiv fitomasy stovburiv robinievykh derevostaniv Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Modeling of phytomass components of trunks of robinia stands of the Northern Steppe of Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, 29 (3), 48–51. DOI: <https://doi.org/10.15421/40290310> [in Ukrainian].
  13. Gitarskiy, M.L. et al. (2017). Potok ugleroda ot valezha yuzhno-tayezhnykh lesov Valdayskoy vozvyshehnosti [Carbon flux from deadwood in the southern taiga forests of the Valdai Upland]. *Ekologiya – Ekologiya*, 6, 447–453. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0367059717060063> [in Russian].
  14. Ivanov, A.V. et al. (2018). Emissiya ugleroda s poverkhnosti valezha v kedrovyykh lesakh Yuzhnogo primor'ya [Carbon emission from the surface of deadwood in the cedar forests of the Southern Primorye]. *Ekologiya – Ekologiya*, 4, 275–281. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0367059718040042> [in Russian].
  15. Utkin, A.I. et al. (1997). Opredeleniye zapasov ugleroda nasazhdeniy na probnykh ploshchadyakh: sravneniye allometricheskogo i konversionnogo-ob'yemnogo metodov [Determination of carbon stocks in plantings on trial plots: comparison of allometric and conversion-volumetric methods]. *Lesovedenie – Forestry*, 5, 51–65 [in Russian].
  16. Churakov, B.P. & Manyakina, Ye.V. (2012). Deponirovaniye ugleroda raznovozrastnymi kul'turami sosny [Carbon deposition by uneven-aged pine crops]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal – Ulyanovsk medical and biological journal*, 1, 125–129 [in Russian].
  17. Kobzar, A.I. (2006). *Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov [Applied Mathematical Statistics. For engineers and scientists]*. Moskva: FIZMATLIT [in Russian].
  18. Moroz, V.V. & Nykytyuk, Yu.A. (2020). Vuhletse-pohl'nal'na zdattnist' sosnovykh lisovykh nasadzen' Volyn's'koho Polissya [Carbon absorption ability of pine forest plantations in Volyn Polissya]. *Naukovi horyzonty – Scientific horizons*, 1 (86), 61–70. DOI: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-86-1-61-70> [in Ukrainian].
  19. Moroz, V.V. & Nykytyuk, Yu.A. (2020). Vuhletse-pohl'nal'na zdattnist' sosnovykh lisovykh nasadzen' Chernihiv's'koho Polissya [Carbon absorption ability of pine forest plantations in Chernihiv Polissya]. *Visnyk Poltav's'koyi derzhavnoyi ahrarynoi akademiyi – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 1, 90–99. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2020.01.10> [in Ukrainian].
  20. Moroz, V.V. & Nykytyuk, Yu.A. (2020). Vuhletse-pohl'nal'na zdattnist' sosnovykh lisovykh nasadzen' Zhytomyr's'koho Polissya [Carbon absorption ability of pine forest plantations in Zhytomyr Polissya]. *Zroshuvane zemlerobstvo. Mizhvidomchyy tematychnyy naukovyy zbirnyk – Irrigated agriculture. Interdepartmental thematic scientific collection*, 73, 43–50. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.73.13> [in Ukrainian].
  21. Moroz, V.V. et al. (2020). Carbon Absorption Ability of Pine Forest Plantations in the Ukrainian Polissya. *Ukrainskyi ekolohichnyi zhurnal – Ukrainian Journal of Ecology*, 10 (2), 249–255 [in Ukrainian].
  22. Poluboyarinov, O.I. (1976). *Plotnost drevesiny [Density of wood]*. Moskva: Lesn. prom-st [in Russian].
  23. Kashpor, S.M. & Strochinskiy, A.A. (2013). *Lisotaksatsiynyy Directory [Forest Taxation Handbook]*. Kyiv: «Vinichenko» [in Ukrainian].
  24. Atkin, A.S. & Atkina, L.I. (1999). *Sposob i dinamika organicheskoy massy v lesnykh soobshchestvakh [Method and dynamics of organic matter in forest communities]*. Yekaterinburg: Izd. UGLTA [in Russian].
  25. Liyepa, I.Ya. (1980). *Dinamika drevesnykh zapasov: Prognozirovaniye i ekologiya [Dynamics of wood stocks: Forecasting and ecology]*. Riga: Zinatne [in Latvian].

Стаття надійшла до редакції журналу 14.05.2021