

ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ, РОЗВИТКУ ТА КЛІМАТОСТАБІЛІЗУЮЧЕ
ЗНАЧЕННЯ ЯЛИЦЕВИХ НАСАДЖЕНЬ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

В.В. Мороз

кандидат сільськогосподарських наук

Поліській національний університет (м. Житомир, Україна)

e-mail: vera_moroz@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1457-4641>

Н.М. Стасюк

аспірант, Інститут агроєкології і природокористування НААН

(м. Київ, Україна)

e-mail: wien@ukr.net;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9184-4078>

Л.М. Тимошенко

кандидат сільськогосподарських наук

Інститут агроєкології і природокористування НААН

(м. Київ, Україна)

e-mail: pion060917@gmail.com;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4648-8307>

Визначено особливості росту та розвитку за діаметром ялицевих лісових насаджень в Українських Карпатах за лісогосподарськими округами: Передкарпатському, Гірськокарпатському та Закарпатських рівнин і передгір'я. Запропоновано математичні залежності повноти та росту ялиці білої (*Abies alba* Mill.) за віком і висотою та за віком і діаметром. За одержаними математичними емпіричними залежностями встановлено, що ялиця біла краще росте в лісорослинних округах Гірськокарпатському та Закарпатських рівнин і передгір'я. У зазначених лісорослинних округах ріст *Abies alba* Mill. переважає на 5% Передкарпатський лісорослинний округ. В окрузі Закарпатських рівнин і передгір'я діаметр ялиці є вищий за Гірськокарпатський округ на 12%, а Передкарпатський — на 17%. За допомогою пакету аналізу даних Microsoft Excel побудовані кореляційні матриці і встановлені тісні взаємозв'язки між віком, висотою, діаметром та фітомасою за окремими фракціями.

Проведено регресійний і дисперсійний аналіз та одержано математичні залежності. За допомогою рівнянь встановлена продуктивність *Abies alba* Mill в Українських Карпатах. За методиками IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2015), G. Matthews (1993) та І.Я. Лієни (1980) встановлено вуглецепоглиняльну та киснетвірну здатність ялиці білої у віці 70 років на площі 1 га в лісорослинних округах Карпат. Визначено, що на площі 1 га ялицеві насадження найбільше поглинають вуглець (117,6 т) та продукують кисень (346,6 т) в окрузі Закарпатських рівнин і передгір'я, а у Гірськокарпатському та Передкарпатському лісогосподарських округах *Abies alba* Mill. поглинає 89,2 т вуглецю та продукує 262,9 т кисню. Проаналізовано щорічні викиди діоксиду вуглецю в навколишнє середовище в умовах Українських Карпат за період 2010–2020 рр. З'ясовано, що середній показник викидів становив 18,6 млн т. Визначено, що ялицеві ліси на 30% зменшують викиди діоксиду вуглецю.

Ключові слова: вуглець, кисень, фітомаса, рівняння, CO₂.

ВСТУП

Головним резервуаром біологічно зв'язаного вуглецю є ліси (містять до 500 млрд т, що становить 2/3 його запасу в атмосфері). При утворенні 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 середньпродуктивного 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, най-

більша його кількість зосереджена в лісових екосистемах — 92%. У рослинах усіх інших екосистем акумульовано лише приблизно 7% вуглецю, а в рослинних організмах океану — менше 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 покращення їх біопродуктивності за допомогою раціонального ведення лісового господарства сприяло б покращенню клімату на планеті [1; 7–9].

З огляду на участь України в Паризькій угоді і зобов'язання, які стоять перед Україною щодо покращення клімату і зменшення обсягів викиду CO_2 , є необхідність у наукових дослідженнях із вуглецепоглиальної та киснепродуктивної здатності лісових насаджень України.

Мета наших досліджень полягає в розробленні математичних залежностей для визначення особливостей росту та розвитку ялицевих насаджень у трьох лісгосподарських округах Українських Карпат, у встановленні їх кліматостабілізуючого значення (вуглецепоглиального та киснепродуктивного), визначенні кількості зниження CO_2 у навколишньому середовищі Карпат за рахунок вуглецепоглиальної здатності ялицевих лісів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Біопродуктивну здатність деревних рослин визначали за науковими працями П.І. Лакиди [9]. Наукові дослідження ми доповнили дослідженнями вітчизняних (Г.Г. Гриника, А.І. Задорожного [2], В.М. Ловинської [10; 11], С.А. Ситника [12]) та іноземних науковців (А.І. Уткіна, Б.П. Чуракова, Е.В. Манякіна, М.Л. Гітарського, А.В. Іванова [13–16]) і 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 ялицевих насаджень збір дослідного матеріалу проводився в державних підприємствах, що розташовані в лісгосподарських округах, у яких проводилися дослідження: у Передкарпатському лісгосподарському окрузі — це ДП «Коломийське лісове господарство (ЛГ)», ДП «Івано-Франківське ЛГ», ДП «Дрогобицький ЛГ», ДП «Старосамбірське ЛМГ», ДП «Сторожинецький держлісгосп», ДП «СЛАП «Сторожинецький держспецлісгосп», ДП «Глибоцький держспецлісгосп АПК», ДП «Чернівецький ЛГ», ДП «Вигодське ЛГ», ДП «Кіцманський ліс АПК»; у 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»; у лісгос-

подарському окрузі Закарпатських рівнин і передгір'я — «Виноградівське ЛГ», «Довжанський лісгосп», «Тячівське ЛГ», «Хустське ЛДГ», «Брустурянське ЛМГ», «Іршавський лісгосп», «Моркянське ЛМГ», «Міжгірське ЛГ» відповідно.

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

За біометричними показниками визначали ріст та повноту ялицевих насаджень Карпатського регіону за лісгосподарськими округами.

Першим кроком для встановлення вуглецепоглиальної та киснепродуктивної ролі є встановлення біомаси дерева. Адже біомаса дерева відіграє суттєву роль у процесі фотосинтезу дерева. Біомасу дерева визначали за формулою:

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

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

Базисну щільність фракцій фітомаси (ρ_{bas}) використовували за опублікованими даними таких авторів, як О. І. Полубоярінов, І. П. Лакида [9; 22].

Об'єм кори, деревини визначали за нормативно-довідковими таблицями [23].

Фітомасу крони ялиці білої (*Abies alba* Mill.) встановлювали за «Нормативами оцінки компонентів надземної фітомаси деревостанів головних лісотвірних порід України» (Лакида та ін., 2013) [24].

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

$$y = a_0 \times x_1^{a_1} \times x_2^{a_2} \dots x_n^{a_n}, \quad (2)$$

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 ($\text{т}/\text{га}$) визначали як фітомасу всіх дерев у насадженні на одиниці площі.

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

$$R_V = M_{fr} / M = a \times A^b, \quad (3)$$

де R_V — конверсійний коефіцієнт, $\text{т}/\text{м}^3$; M_{fr} — фітомаса певної фракції деревостану,

т/га; M — запас деревини в корі, м/га; a, b — постійні коефіцієнти регресії; A — вік насадження, роки.

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

Оцінка киснепродуктивності в лісонасадженнях здійснена за методикою І.Я. Лієпи [25].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Ріст і повнота деревних рослин залежить від кліматичних та географічних умов зростання. Зважаючи на одержані показники по деревній таксації на тимчасових пробних площах, нами отримані математичні рівняння росту та розвитку (за діаметром) ялицевих насаджень Українських Карпат за лісгосподарськими округами:

Передкарпатський лісгосподарський округ:

$$h = 10,8 \times \ln(A) - 22,3 \quad R^2 = 0,902 \quad (4),$$

$$d = 29,5 \times \ln(A) - 56,1 \quad R^2 = 0,882 \quad (5);$$

Гірськокарпатський лісгосподарський округ:

$$h = 11,5 \times \ln(A) - 23,9 \quad R^2 = 0,881 \quad (6),$$

$$d = 17,4 \times \ln(A) - 43,9 \quad R^2 = 0,744 \quad (7);$$

Лісгосподарський округ Закарпатських рівнин і передгір'я:

$$h = 11,5 \times \ln(A) - 24,1 \quad R^2 = 0,930 \quad (8),$$

$$d = 21,8 \times \ln(A) - 59,79 \quad R^2 = 0,747 \quad (9);$$

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

Високі коефіцієнти детермінації рівнянь (0,747–0,930) свідчать про достатню апроксимацію та можливість їх подальшого використання з метою прогнозування росту та розвитку ялиці в умовах Українських Карпат за лісгосподарськими округами.

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

Згідно з отриманими результатами аналізу (рис. 1) можна стверджувати, що ялиця біла краще росте в Закарпатському окрузі рівнин і передгір'я та Гірськокарпатському лісгосподарському окрузі. Показник висоти в зазначених округах за віком в середньому вищий на 5% за показник Передкарпатського округу. Також повнота ялиці є вищою на 17% у Закарпатському окрузі порівняно з Передкарпатським і на 12% більшою, ніж у Гірськокарпатському.

Для встановлення кореляційних взаємозв'язків між таксаційними показниками та фітомасою різних фракцій ялицевих насаджень за допомогою пакета аналізу даних Microsoft Excel побудовано кореляційні матриці для кожного лісгосподарського округу окремо (табл. 1).

Між показниками фітомаси та біометричними показниками (висота, діаметр, вік) у ялицевих насадженнях спостерігається кореляційний взаємозв'язок від 0,674 до 0,999.

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

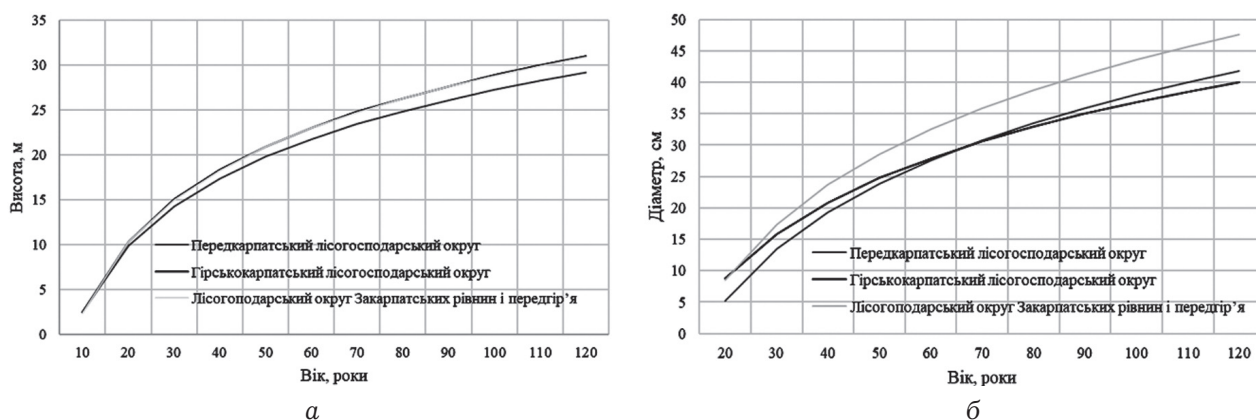


Рис. 1. Залежності за рівняннями: а) середньої висоти та віку; б) середнього діаметру та віку

Джерело: побудовано авторами.

Таблиця 1

Матриця парних коефіцієнтів кореляції *Abies alba* Mill.

Показники	Вік, років	Середня висота, м	Середній діаметр, см	Середня фітомаса деревини, кг	Середня фітомаса кори, кг	Середня фітомаса крони, кг
<i>Передкарпатський лісгосподарський округ</i>						
Вік, років	1,00	–	–	–	–	–
Середня висота, м	0,875	1,00	–	–	–	–
Середній діаметр, см	0,950	0,891	1,00	–	–	–
Середня фітомаса деревини, кг	0,959	0,866	0,984	1,00	–	–
Середня фітомаса кори, кг	0,963	0,871	0,983	0,999	1,00	–
Середня фітомаса крони, кг	0,951	0,943	0,991	0,973	0,974	1,00
<i>Гірськокарпатський лісгосподарський округ</i>						
Вік, років	1,00	–	–	–	–	–
Середня висота, м	0,883	1,00	–	–	–	–
Середній діаметр, см	0,854	0,908	1,00	–	–	–
Середня фітомаса деревини, кг	0,879	0,931	0,967	1,00	–	–
Середня фітомаса кори, кг	0,879	0,939	0,960	0,998	1,00	–
Середня фітомаса крони, кг	0,885	0,964	0,987	0,976	0,975	1,00
<i>Лісгосподарський округ Закарпатських рівнин і передгір'я</i>						
Вік, років	1,00	–	–	–	–	–
Середня висота, м	0,674	1,00	–	–	–	–
Середній діаметр, см	0,690	0,984	1,00	–	–	–
Середня фітомаса деревини, кг	0,676	0,982	0,999	1,00	–	–
Середня фітомаса кори, кг	0,802	0,982	0,974	0,969	1,00	–
Середня фітомаса крони, кг	0,885	0,964	0,987	0,976	0,975	1,00

Джерело: сформовано авторами.

Таблиця 2

Показники регресійної статистики та дисперсійного аналізу деревини *Abies alba* Mill.
у Передкарпатському лісгосподарському окрузі

Регресійна статистика						
Множинний R	0,999					
Коефіцієнт детермінації R ²	0,999					
Нормований R ²	0,999					
Стандартна помилка	0,003					
спостереження	25					

Закінчення таблиці 2

Показники		<i>df</i> (кількість ступенів волі)	<i>SS</i> (сума квадратів відхилень)	<i>MS</i> (оцінка дисперсії)	<i>F</i>	значимість <i>F</i>	
Регресія		2	2,76	1,38	128669	$1,8 \times 10^{-45}$	
Залишок		20	0,00023	$1,0 \times 10^{-5}$			
Разом		22	2,76				
Показники		Коефіцієнти	стандартна помилка	<i>t</i> – статистика	<i>P</i> – значення	нижнє 95%	верхнє 95%
Y — перетин	$\ln_{10}(y)$	-1,715	0,011	-155,495	0,000	-1,737	-1,692
Мінлива	x_1	2,051	0,013	162,979	0,000	2,025	2,077
Мінлива	x_2	0,825	0,018	45,008	0,000	0,787	0,863

Джерело: сформовано авторами.

Таблиця 3

Показники регресійної статистики та дисперсійного аналізу кори *Abies alba* Mill.
у Передкарпатському лісгосподарському окрузі

Регресійна статистика							
Множинний <i>R</i>	0,999						
Коефіцієнт детермінації <i>R</i> ²	0,998						
Нормований <i>R</i> ²	0,998						
Стандартна помилка	0,01						
Спостереження		25					
Дисперсійний аналіз							
Показники		<i>df</i> (кількість ступенів волі)	<i>SS</i> (сума квадратів відхилень)	<i>MS</i> (оцінка дисперсії)	<i>F</i>	значимість <i>F</i>	
Регресія		2	2,02	0,87	5732,0	$1,3 \times 10^{-30}$	
Залишок		22	$0,4 \times 10^{-2}$	$0,2 \times 10^{-3}$			
Разом		24	2,03				
Показники		Коефіцієнти	стандартна помилка	<i>t</i> – статистика	<i>P</i> – значення	нижнє 95%	верхнє 95%
Y — перетин	$\ln_{10}(y)$	-2,11	0,04	-47,31	0,00	-2,21	-2,02
Мінлива	x_1	1,79	0,05	35,05	0,00	1,68	1,89
Мінлива	x_2	0,665	0,07	8,82	0,00	0,50	0,81

Джерело: сформовано авторами.

Повертаємо до початкової функції показник Y та одержуємо:

$$y = 0,02 \times x_1^{2,05} \times x_2^{0,825}, \quad (11)$$

$$\ln_{10}(-1,715) = 0,02 \quad (10)$$

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

де *y* — середня фітомаса деревини ялиці, кг;
 x_1 — діаметр дерева, см; x_2 — висота дерева, м.

Отже, збільшення діаметра дерева на 2,05% і висоти на 0,825% має безпосередній вплив на збільшення фітомаси дерева.

Міра визначеності дорівнює 0,999, що говорить про достатню апроксимацію отриманого степеневого рівняння з вихідними показниками.

Множинний R є достатньо високим і дорівнює 0,999.

Згідно з дисперсійним аналізом, рівняння є значущим на 5% рівні, тому що значущість F є менше ніж 0,05.

Одержане степеневе рівняння буде мати вигляд:

$$y = 0,008 \times x_1^{1,79} \times x_2^{0,665}, \quad (12)$$

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

Коефіцієнт детермінації високим — 0,998, що вказує на вірогідність рівняння. Кореляційний зв'язок (множинний R) між показниками високим — 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, деревини та крони для *Abies alba* Mill.:

у Гірськокарпатському лісогосподарському окрузі:

$$\text{деревина: } y = 0,02 \times x_1^{1,99} \times x_2^{0,889} \quad R^2=0,999 \quad (13);$$

кора: $y = 0,01 \times x_1^{1,54} \times x_2^{0,922} \quad R^2=0,996 \quad (14);$
у окрузі Закарпатських рівнин і передгір'я:

$$\text{деревина: } y = 0,02 \times x_1^{1,99} \times x_2^{0,947} \quad R^2=0,994 \quad (15);$$

$$\text{кора: } y = 0,05 \times x_1^{1,91} \times x_2^{0,642} \quad R^2=0,985 \quad (16);$$

Для встановлення конверсійних коефіцієнтів застосовано рівняння (3) та отримано числові значення, які наведено в табл. 4.

Одержані емпіричні рівняння апроксимуються на 70–89% з фактичними даними, тому їх можна використовувати в подальших дослідженнях.

За допомогою одержаних математичних залежностей за рівнянням (3), показники якого наведено в табл. 4, та методиками G. Matthews і І.Я. Лієпи встановлено вуглецепоглиняльну та киснетвірну здатність насаджень *Abies alba* Mill. у віці 70 років на площі 1 га. При цьому середній запас ялицевих насаджень у Передкарпатському лісогосподарському окрузі становить 340 м³/га, у Гірськокарпатському — 400 м³/га, в окрузі Закарпатських рівнин і передгір'я — 520 м³/га (рис. 2).

Отже, враховуючи всі показники встановлено, що в Передкарпатському та Гірськокарпатському лісогосподарських округах на площі 1 га *Abies alba* Mill. поглинає 89,2 т вуглецю та продукує 262,9 т кисню, а в лісогосподарсько-

Таблиця 4

Числові значення конверсійних коефіцієнтів насаджень *Abies alba* Mill.

Фракції фітомаси, кг	Значення коефіцієнтів		Коефіцієнт детермінації, R^2
	a	b	
<i>Передкарпатський лісогосподарський округ</i>			
деревина	0,329	0,022	0,739
кора	0,102	-0,252	
крона	23,7	-1,33	
<i>Гірськокарпатський лісогосподарський округ</i>			
деревина	0,332	0,021	0,712
кора	0,09	-0,239	0,704
крона	10,2	-1,16	0,811
<i>Лісогосподарський округ Закарпатських рівнин і передгір'я</i>			
деревина	0,340	0,015	0,784
кора	0,074	-0,177	0,785
крона	10,9	-1,16	0,718

Джерело: сформовано авторами.

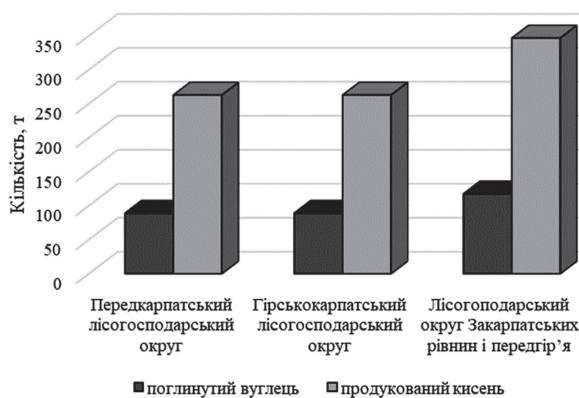


Рис. 2. Кількість поглинання вуглецю та продукування кисню ялицевими насадженнями у віці 70 років на площі 1 га
Джерело: побудовано авторами.

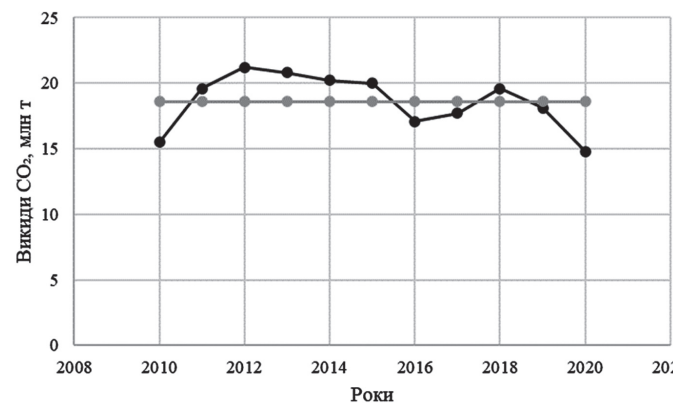


Рис. 3. Викиди CO₂ в Українських Карпатах за період 2010–2020 рр.
Джерело: побудовано авторами.

му окрузі Закарпатських рівнин і передгір'я поглинає 117,6 т вуглецю та продукує 346,6 т кисню.

Згідно з показниками Державного лісового кадастру станом на 1 січня 2011 року (форма № 2) в Українських Карпатах запас деревини ялицевих становить 20,2 млн м³. Отже, загальна кількість поглинутого вуглецю та продукованого кисню *Abies alba* Mill. в Українських Карпатах становить 5,4 млн т і 11,4 млн т відповідно.

За даними Головного управління статистики ми встановили, що головним джерелом забруднення CO₂ є автотранспорт: середня кількість викидів за період 2010–2020 рр. становить 18,6 млн т (рис. 3).

Враховуючи кількість викидів CO₂ в навколишнє природне середовище та кількість поглинання вуглецю, можна стверджувати, що ялицеві насадження відіграють важливе кліматостабілізуюче значення, зменшуючи обсяги викидів вуглекислого газу на 30%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Букша І.Ф., Бутрим О.В., Пастернак В. П. Інвентаризація парникових газів у секторі землекористування та лісового господарства: монографія. 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 переважаючих 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 лісогосподарському округу. *Annali d'Italia. Scientific Journal of Italy*. 2020. № 14. Том. 1. С. 10–15.
5. Мороз В.В., Стасюк Н.М. Екологічне значення хвойних лісів у лісогосподарському округу Закарпатських рівнин і передгір'я. *Sciences of Europe*. 2020. №59. Том. 2. С. 24–30.
6. Мороз В.В., Стасюк Н.М., Петрів С.М. Екологічне значення хвойних лісів у Гірськокарпатському лісогосподарському округу. *Journal of science*. Lyon. 2020. № 14. Том. 1. С. 12–18.

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 ялиці білої (*Abies alba* Mill.) в Українських Карпатах.

Встановлено, що ялиця біла найкраще росте й набирає повноту в окрузі Закарпатських рівнин і передгір'я.

З'ясовано, що у віці 70 років на площі 1 га ялицеві насадження найбільше поглинають вуглець (у межах 117,6 т) та продукують кисень (346,6 т) у окрузі Закарпатських рівнин і передгір'я.

Визначено, що загальна кількість поглинутого вуглецю та продукованого кисню ялицевими насадженнями в Українській Карпатах становить 5,4 млн т і 11,4 млн т відповідно.

Встановлено, що ялицеві насадження на 30% зменшують викиди CO₂ в умовах Українських Карпат.

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: монографія. Тернопіль: Збруч, 2002. 256 с.
10. Ловинська В.М. Локальна щільність компонентів фітомаси стовбура сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) Північного Степу України. *Вісник аграрної наук 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. Моделювання 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: [10.7868/S0367059718040042](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. №01(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. Полуобяринов О.И. Плотность древесины. Москва: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
23. Кашпор С.М., Строчинський А.А. Лісотаксаційний довідник. Київ: Вид. дім «Вінніченко», 2013. 496 с.
24. Лакида П.І. та ін. Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси деревостанів головних лісових порід України. Корсунь-Шевченківський: ФОП Гавришенко В.М., 2013. 457 с.
25. Лиёпа И.Я. Динамика древесных запасов: Прогнозирование и экология. Рига: Зинатне, 1980. 172 с.

PECULIARITIES OF GROWTH, DEVELOPMENT AND CLIMATE-STABILIZING SIGNIFICANCE OF FIR PLANTATIONS OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS

Moroz V.

Candidate of Agricultural Sciences
Polissya National University
(Zhytomyr, Ukraine)

e-mail: vera_moroz@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1457-4641>
Stasyuk N.

Graduate student

Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS
(Kyiv, Ukraine)

e-mail: wien@ukr.net; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9184-4078>
Tymoshenko L.

Candidate of Agricultural Sciences
Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS
(Kyiv, Ukraine)

e-mail: pion060917@gmail.com;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4648-8307>

Peculiarities of growth and development by diameter of fir forest plantations in the Ukrainian Carpathians by forestry districts: Precarpathian, Mountain Carpathian and Transcarpathian plains and foothills are determined. Mathematical dependences of completeness and growth of white fir (Abies alba Mill.) on age and height and on age and diameter are offered. According to the obtained mathematical empirical dependences, it is established that white fir grows better in the forest-growing districts of the Mountain Carpathian and Transcarpathian plains and foothills. In these forest districts the growth of Abies alba Mill. prevails by 5% in the Pre-Carpathian forest district. In the district of the Transcarpathian plains and foothills, the diameter of the fir is higher than the Mountain Carpathian district by 12%, and the Precarpathian region by 17%. The Microsoft Excel data analysis package builds correlation matrices and establishes close relationships between age, height, diameter and phytomass by individual fractions.

Regression and disperse analysis were performed and mathematical dependences were obtained. The biological productivity of Abies alba Mill in the Ukrainian Carpathians was established with the help of equations. According to the methods of IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2015), G. Matthews (1993) and I.Ya. Liepa (1980) established the carbon-absorbing and oxygen-forming capacity of white fir at the age of 70 on an area of 1 ha in the forest vegetation districts of the Carpathians. It has been determined that on the area of 1 ha fir plantations absorb the most carbon — 117.6 tons, and produce oxygen — 346.6 tons in the Transcarpathian plains and foothills, and in the forestry districts of the Carpathian and Precarpathian Abies alba Mill. absorbs 89.2 tons of carbon and produces 262.9 tons of oxygen. Analyzing the annual emissions of carbon dioxide into the environment of the Ukrainian Carpathians for the period 2010–2020, it was found that the average emissions were 18.6 million tons. It was determined that fir forests reduce carbon dioxide emissions by 30%.

Keywords: carbon, oxygen, phytomass, equations, CO₂.

REFERENCES

1. Buksha, I.F., Butrym, O.V. & Pasternak, V.P. (2008). *Inventaryzatsiya parnykovykh haziv u sektori zemlekorystuvannya ta lisovoho hospodarstva: monohrafiia [Inventory of greenhouse gases in the land use and forestry sector: monograph]*. Kharkiv: KHNAU [in Ukrainian].
2. Hrynyk, H.H., Zadorozhnyy, A.I. (2018). Modeli dynamiky nadzemnoi fitomasy derev yalyny yevropeiskoi zalezno vid yikhnikh taksatsiinykh pokaznykiv u perevazhaiuchykh typakh lisoroslynykh umov Polonynskoho khrehta Ukrainskykh 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]*. L'viv: Svit [in Ukrainian].
4. Moroz, V.V., Stasyuk, N.M. (2020). Ekolohichne znachennya khvoynykh lisiv u Peredkarpats'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 Ukrainian].
5. Moroz, V.V., Stasyuk, N.M. (2020). Ekolohichne znachennya khvoynykh lisiv u lisohospodars'komu okruhu Zakarpats'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 Ukrainian].
6. Moroz, V.V., Stasyuk, N.M. & Petriv, S.M. (2020). Ekolohichne znachennya khvoynykh lisiv u Hirs'kokarpats'komu lisohospodars'komu okruhu [Ecological significance of coniferous forests in the Mountain-Carpathian forestry district]. *Journal of science*. Lyon, 14(1), 12–18 [in Ukrainian].
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 Ukraine — L'viv: RVV NLTU Ukrayiny, 7, 11–17 [Russian].
8. Matthews, G. (1993). The Carbon Contents of Trees. Forestry Commission, Tech. Paper 4. Edinburgh [in English].
9. Lakyda, P.I. *Fitomasa lisiv Ukrayiny [Phytomass of forests of Ukraine]*. (2002). Ternopil': Zbruch [in Ukrainian].
10. Lovynska, V.M. (2018). Lokalna shchilnist komponentiv fitomasy stovbura sosny zvychnoi (*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 nauk Prychornomor'ya — 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). Modeliuvannya komponentiv fitomasy stovburiv robiniiyvykh 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. Gatarskiy, M.L. et al. (2017). Potok ughleroda ot valezha yuzhno-tayezhnykh lesov Valdayskoy vozvyshennosti [Carbon flux from deadwood in the southern taiga forests of the Valdai Upland]. *Ekolohiya — Ekologiya*, 6, 447–453. doi: <https://doi.org/10.7868/S0367059717060063> [in Russian].
 14. Ivanov, A.V. et al. (2018). Emissiya ughleroda s poverkhnosti valezha v kedrovyykh lesakh Yuzhnogo primor'ya [Carbon emission from the surface of deadwood in the cedar forests of the Southern Primorye]. *Ekolohiya — Ekologiya*, 4, 275–281. doi: 10.7868/S0367059718040042 [in Russian].
 15. Utkin, A.I. et al. (1997). Opredeleniye zapasov ughleroda 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]. *Lesovedeniye — Forestry*, 5, 51–65 [in Russian].
 16. Churakov, B.P., Manyakina, Ye.V. (2012). Deponirovaniye ughleroda 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). Vuhletsepohtynal'na zdatnist' sosnovykh lisovykh nasadzhen' 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). Vuhletsepohtynal'na zdatnist' sosnovykh lisovykh nasadzhen' Chernihivs'koho Polissya [Carbon absorption ability of pine forest plantations in Chernihiv Polissya]. *Visnyk Poltav's'koyi derzhavnoyi ahraranoi 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). Vuhletsepohtynal'na zdatnist' sosnovykh lisovykh nasadzhen' Zhytomyrs'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 English].
 22. Poluboyarinov, O.I. (1976). *Plotnost' drevesiny [Density of wood]*. Moskva: Lesn. prom-st' [in Russian].
 23. Kashpor, S.M., Strochinskiy, A.A. (2013). *Lisotaksatsiyunnyy Directory [Forest Taxation Handbook]*. Kyiv: Vid. dim «Vinnichenko» [in Ukrainian].
 24. Lakyda, P. I. et al. (2003). *Normatyvy otsinky komponentiv nadzemnoi fitomasy derevostaniv holovnykh lisotvirnykh porid Ukrainy [Standards for assessment of components of aboveground phytomass of stands of the main forest-forming species of Ukraine]*. Korsun-Shevchenkivskiy: FOP Havryshenko V.M. [in Ukrainian].
 25. Liyepa, I.Ya. (1980). *Dinamika drevesnykh zapasov: Prognozirovaniye i ekologiya [Dynamics of wood stocks: Forecasting and ecology]*. Riga: Zinatne [in Russian].

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Мороз Віра Василівна, кандидат сільськогосподарських наук, Поліський національний університет (вул. Старий бульвар, 70, м. Житомир, Житомирська обл., 10008; e-mail: vera_moroz@ukr.net; тел.: +380939479729; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1457-4641>)

Стасюк Наталія Михайлівна, аспірант, Інститут агроєкології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: wien@ukr.net; тел.: +380980337405; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9184-4078>)

Тимошенко Людмила Михайлівна, кандидат сільськогосподарських наук, Інститут агроєкології і природокористування НААН (вул. Метрологічна, 12, м. Київ, Україна, 03143; e-mail: pion060917@gmail.com; тел.: +30677220483; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4648-8307>)