



UDC 630.181:581.132:58.087

CARBON ABSORPTION ABILITY OF PINE FOREST PLANTATIONS IN VOLYN POLISSYA

V. Moroz, Y. Nykytiuk

Article info

Received

02.01.2020

Accepted

28.01.2020

Zhytomyr National
Agroecological
University

7, Staryi Blvd,
Zhytomyr, 10008,
Ukraine

E-mail:

vera_moroz@ukr.net;

andreyniks2@gmail.com

Moroz, V., Nykytiuk, Y. (2020). Carbon absorption ability of pine forest plantations in Volyn Polissya. Scientific Horizons, 01 (86), 61–70. doi: 10.33249/2663-2144-2020-86-1-61-70.

According to the signed climate Paris Agreement, Ukraine is faced with the task to prevent the global average air temperature from rising above 2°C in order to avoid an increase in droughts, extinction of certain species of plants and animals, drying up and diseases of tree species, etc.

To preserve and increase the number of natural carbon sinks, scientists pay attention in particular to the system of improving forest, soil, and other natural resources management.

Among thirty main forest-forming species in Ukraine, Scots pine (*Pinus silvestris* L.) is the predominant tree species, in Volyn Polissya, in particular, its amount is 484.1 thousand hectares, which is 57 % of all tree plantations.

To establish the carbon absorption capacity of pine plantations of Volyn Polissya, we have laid temporary test squares (CCIs) in state-owned enterprises: Volyn Forest Breeding and Seed Center, Volodymyr-Volyn Forestry hunting enterprise; Kovel Forestry; Lyubomlske Forestry; Manevichi Forestry; Specialized Forestry Agricultural Enterprise (SLAP) Rozhyscheagrolis; Turian Forestry.

According to the methods of P. I. Lakida, A. A. Storochinsky, O. I. Poluboyarynova, A. S. Atkin, A. I. Kobzar, we established a phytomass of pine plantations in a completely dry state and obtained conversion coefficients that made it possible to estimate the difference between CO₂ emissions and carbon sequestration.

According to the analysis of the distribution of areas of forest land areas for pine plantations in Volyn Polissya, the overwhelming majority is occupied by pine forests of IV category (operational), their share is 72 %, and thus their carbon absorption capacity is higher.

It was found that the pine forests of Volyn Polissya annually absorb from 9,0-16,0 thousand tonnes of carbon from the air, which is approximately 0,6–3,2 % of the annual carbon emissions into the atmospheric air, which in turn has a positive environmental impact on the research area.

Key words: pine plantations, phytomass, forest categories, conversion factors, carbon sequestration.

ВУГЛЕЦЕПОГЛІНАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ СОСНОВИХ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ ВОЛИНСЬКОГО ПОЛІССЯ

В. В. Мороз, Ю. А. Никитюк

Житомирський національний агроекологічний університет
бульвар Старий 7, м. Житомир, 10008, Україна

Згідно з підписаною Паризькою кліматичною угодою перед Україною стоїть завдання не допустити зростання глобальної середньої температури повітря більше 2°C, аби уникнути збільшення посух, зникнення окремих видів рослин і тварин, всихань і захворювань дерев різних порід тощо.

Для збереження та збільшенню кількості природних поглиначів вуглецю, науковцями надається особлива увага системі покращення управління лісовими, ґрунтовими та іншими природними ресурсами.

Серед тридцяти головних лісотвірних порід в Україні сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) є переважаючою деревною породою, зокрема у Волинському Поліссі, її площа становить 484,1 тис. га, що складає 57 % від площі покритих лісом ділянок.

Для встановлення вуглецепоглиальної здатності соснових насаджень Волинського Полісся в таких державних підприємствах, як Волинський лісовий селекційно-насіннєвий центр, Володимир-Волинське лісомисливське господарство (ЛМГ), Ковельське лісове господарство (ЛГ), Любомльське ЛГ, Маневицьке ЛГ, Спеціалізоване лісгосподарське агропромислове підприємство (СЛАП) Рожшищеагроліс, Турійське ЛГ, нами були закладені тимчасові пробні площі (ТПП).

Згідно з методиками П. І. Лакиди, А. А. Сторочинського, О. І. Полубояринова, А. С. Аткина, А. І. Кобзаря нами встановлено фітомасу соснових насаджень в абсолютно сухому стані та отримано конверсійні коефіцієнти, які дали змогу оцінити різницю між викидами CO₂ та поглинанням вуглецю.

Відповідно до проведеного аналізу розподілу площ лісових ділянок під сосновими насадженнями у Волинському Поліссі більшість займають соснові ліси IV категорії (експлуатаційні), їх частка складає 72 %, тому їх вуглецепоглиальна здатність є найбільш вагомю.

З'ясовано, що соснові ліси Волинського Полісся щорічно поглинають у межах 9,0–16,0 тис. т вуглецю з повітря, що приблизно становить 0,6–3,2 % від щорічних викидів вуглецю в атмосферне повітря, а це, в свою чергу, має позитивний вплив на стан навколишнього середовища у регіоні дослідження.

Ключові слова: соснові насадження, фітомаса, категорії лісів, конверсійні коефіцієнти, поглинання вуглецю.

Вступ

За останні десятиріччя кліматичні зміни призвели до низки негативних чинників, серед яких зникнення окремих видів рослин і тварин, посухи, ускладнення вирощування сільськогосподарських культур, висихання і захворювання деревних порід тощо (Buksha et al., 2008; SolovIy, 2016).

Враховуючи зазначені фактори, на Міжнародних кліматичних переговорах ООН (COP21) у 2015 р. була підписана Паризька угода. Із 197 країн світу, які взяли участь у підписанні угоди, 176 її ратифікували. Україна була однією із перших країн світу, яка на державному рівні затвердила угоду (Parizka ..., 2014; Analitichniy ..., 2018).

Головна мета Паризької кліматичної угоди – не допустити зростання глобальної середньої температури повітря більше ніж 2°C (по можливості – не більше 1,5°C) відносно показників до початку промислової революції, коли людство почало спалювати величезну кількість викопного палива, мова йде про історичний період до 1750-х років – до того коли, в Англії розпочалася промислова революція, що пізніше поширилася країнами Європи (Pochtovyuk & Pryahina, 2012; Partnerstvo ..., 2019).

Утримання глобального потепління на рівні 1,5-2°C, потребує швидкого зменшення антропогенних викидів парникових газів у навколишнє середовище та повного їх усунення до другої половини XXI століття (Tretyakov et al., 2006).

Для вирішення локальних і глобальних екологічних проблем Паризька угода передбачає активне використання торгівлі квотами на викиди забруднюючих речовин. «Квота» – це дозвіл, сертифікат на викиди однієї тонни еквівалента CO₂ за певний період часу, який може бути передано у відповідності з правилами схеми. Торговля квотами емісії парникових газів (ПГ) (англ. Emissions trading) – ринковий інструмент зниження викидів парникових газів в атмосферу (Pochtovyuk & Pryahina, 2012; Analitichniy ..., 2018). Середня вартість однієї квоти на викиди парникових газів становить 18 доларів США, якщо припустити можливість продажу різниці між викидами і депонуванням вуглецю, то Україна мала б значний прибуток від реалізації квот. Враховуючи вищезазначене, Міністерство енергетики та захисту довкілля України розглядає шляхи впровадження системи торгівлі квотами на викиди парникових газів (Partnerstvo ..., 2019).

На конференції ООН зі зміни клімату в Парижі (2015), розглядалася позитивна роль лісів у зміні клімату. Важливість лісів ґрунтується на рамковій програмі ООН, схваленій у 2013 році – REDD+ (скорочення викидів у результаті знеліснення і деградації лісів), (Solovy, 2016).

Отже, збереженню існуючих та збільшенню кількості природних поглиначів вуглецю, за допомогою покращеного управління лісами та іншими рослинними насадженнями і ґрунтами, науковці надають особливу увагу.

У науці деякими вітчизняними вченими розроблено шляхи та методи оцінки компонентів надземної фітомаси лісових насаджень, зокрема П. І. Лакидою і учнями його наукової школи та іншими.

Наші наукові дослідження доповнено сучасними науковими дослідженнями (Hrynyk & Zadorozhnyu, 2018; Lovinska, 2018; Sytnyk, 2019) та розробками іноземних науковців у галузі оцінки біопродуктивності лісових насаджень (Shvidenko et al., 1987; Atkin & Atkina, 1999; Alekseev et al., 2006; Schepaschenko et al., 2008; Demakov et al., 2015) та удосконалено методами математичного моделювання з використанням методик (Gerasimovich & Matveeva, 1978; Kobzar, 2006).

За даними Державного агентства лісових ресурсів України серед 30 головних лісотвірних порід сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) займає 35% і є одним із перспективних вуглецепоглиначів в Україні (рис. 1).

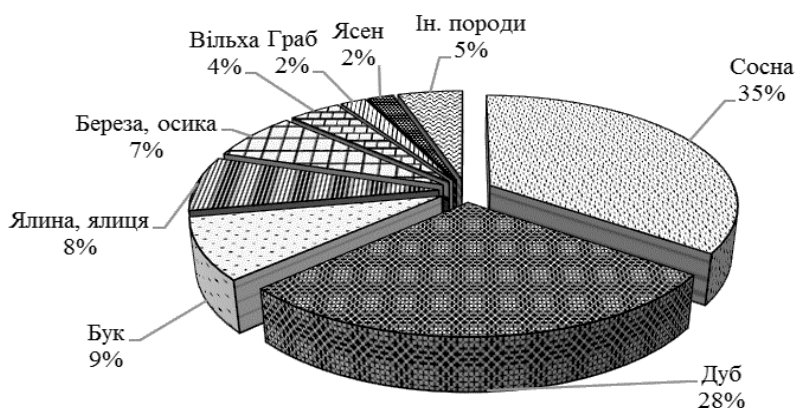


Рис. 1. Розподіл площі лісів України за переважаючими деревними породами (згідно з даними Державного агентства лісових ресурсів України)

Джерело: побудовано за даними (Publichnyi ..., 2017).

За даними державного лісового кадастру станом на 1 січня 2011 р. у Волинському Поліссі площа вкритих лісовою рослинністю соснових

лісових ділянок становить 484,1 тис. га, що складає 57% від решти насаджень (рис. 2).

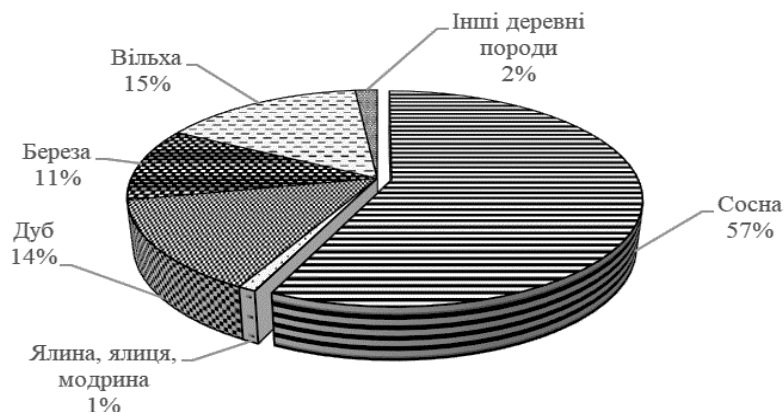


Рис. 2. Розподіл площі вкритих лісовою рослинністю соснових лісових ділянок Волинського Полісся

Джерело: власні дослідження.

Згідно з розподілами площ лісових ділянок під сосновими насадженнями за категоріями лісів у Волинському Поліссі більшість займають соснові ліси IV категорії (експлуатаційні) їх

частка складає 72 %, а найменшу площу займають ліси II категорії (рекреаційно-оздоровчі) – 6 % (рис. 3).

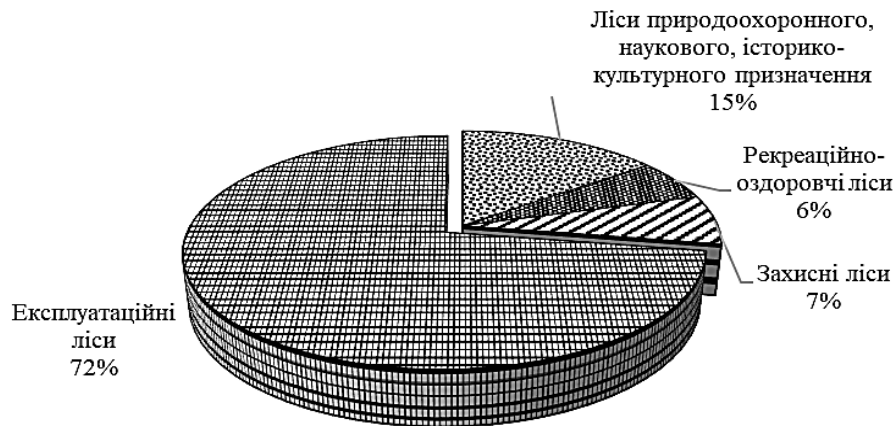


Рис. 3. Розподіл за категоріями соснових лісових ділянок у Волинському Поліссі

Джерело: власні дослідження.

Наші дослідження були зосереджені на відборі дослідного матеріалу в різновікових соснових насадженнях I-IV категорій лісів Волинського Полісся.

Матеріали і методи

Збір дослідного матеріалу проводився в державних підприємствах 2016–2019 рр.: Волинський лісовий селекційно-насінневий центр, Володимир-Волинське ЛМГ (у лісництвах – Стенжаричівське, Устилузьке, Павлівське, Губинське, Микуличівське, Ішівське); Ковельське лісове господарство (у лісництвах – Зеленівське, Ковельське, Білинське, Скулинське, Радовичівське, Кашівське, Углівське, Градівське, Колківське, Тельчівське, Осницьке); Любомльське лісове господарство (у лісництвах – Чорноплеське, Мосирське, Любомльське, Головнянське, Замлинське); Маневицьке ЛГ (у лісництвах – Галузійське, Черевахівське, Куклинське, Софянівське, Вовчецьке, Маневицьке, Карасинське, Ново-Червищанське, Оконське); СЛАП Рожищеагроліс (у лісництвах – Стохідське, Стирне); Турійське ЛГ (у лісництвах – Вербчанське, Перевалівське, Ружинське, Мокрецьке, Радовичівське, Осівське, Турійське, Цуманське, Холоневицьке, Сильненське, Горинське, Партизанське).

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

закладання». Розмір пробних площ визначали з розрахунку наявності в них середньовікових, пристиглих і стиглих високоповнотних насаджень не менше 200 дерев основного елементу лісу. У молодняках пробні площі становили 0,25 га, за умови наявності на площі переліку не менше 400 дерев. При закладанні пробних площ у перестиглих і низькоповнотних насадженнях, розмір площі залежав від кількості дерев, які повинні становити не менше 150 шт. основного елементу лісу. За наявності у складі насаджень чотирьох і більше деревних порід середнього діаметру понад 50 см, кількість дерев становила не менше 100 дерев. Загальна кількість пробних площ – 88.

Фітомасу деревини та кори в абсолютно сухому стані визначали через їх об'єм, згідно з довідковими таблицями (Shvidenko et al., 1987; Kashpor & Strochinskiy, 2013), та множили на середню базисну щільність (Poluboyarinov, 1976; Borovikov & Ugolev, 1989):

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

де: m – фітомаса компонента, кг; V – об'єм компонента, м³; $\rho_{\text{баз}}$ – базисна щільність, кг/м³.

Для встановлення фітомаси крони сосни звичайної використано рівняння, яке запропонували (Atkin & Atkina, 1999; Alekseev et al., 2006):

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

де: $m_{\text{крони}}$ – фітомаса крони, кг;

$m_{\text{стовбура}}$ – фітомаса стовбура, кг.

Загальну фітомасу дерева визначали як суму окремих фітофракцій дерева (кора, деревина, крона), (Klevtsov et al., 2018).

Запаси вуглецю в деревостанах встановлювали на підставі даних запасу стовбурів сосни звичайної за допомогою конверсійно-об'ємних коефіцієнтів, що представляють собою відношення фітомаси окремих фракцій до запасу деревини і залежних від віку деревостану (Lakida, 2002; Lovinska, 2018).

Математичне моделювання здійснювали за методикою А. І. Кобзаря, А. І. Герасимович, Я. І. Матвєєва (Gerasimovich & Matveeva, 1978; Kobzar, 2006) за допомогою Microsoft Excel.

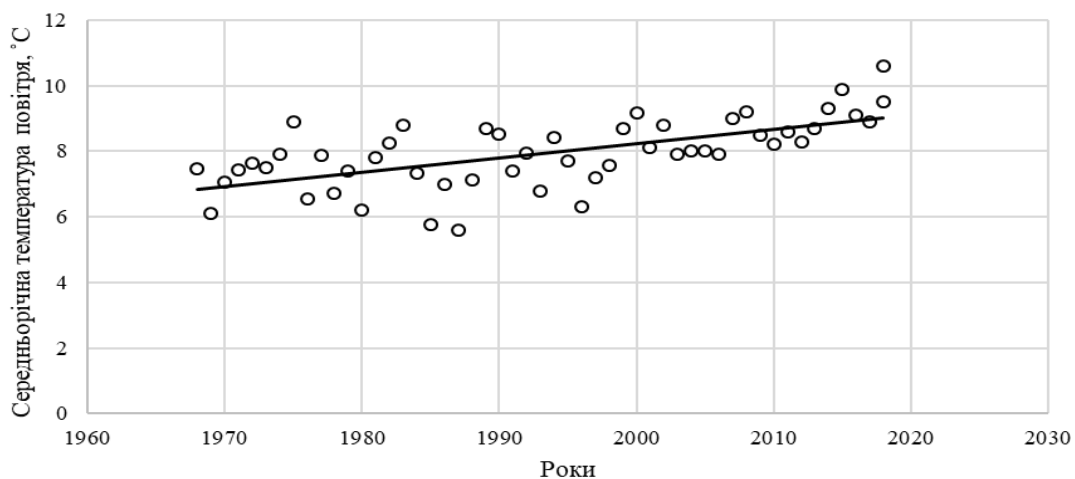


Рис. 4. Середньорічна температура повітря за період 1968–2018 рр.

Отже, згідно з отриманими результатами аналізу (рис. 4) у Волинському Поліссі спостерігається тенденція зростання середньорічної температури повітря на 2°C.

За формулами 1 і 2 та показниками ТПП встановлено фітомасу деревини, кори та крони сосни звичайної та побудовано кореляційну матрицю між показниками надземної фітомаси в абсолютно сухому стані та таксаційними показниками дерева (діаметр і висота) (Hrynyk & Zadorozhnyy, 2018). Результати аналізу представлено у таблиці 1.

Отримана кореляційна матриця вказує на тісний зв'язок (0,811–0,999) між всіма зазначеними у таблиці показниками, окрім повноти та бонітету.

Проведений статистичний аналіз зазначив про однорідну сукупність за повнотою та середньою висотою та не однорідну за віком, середнім діаметром, об'ємом стовбура та фітомасою за фітофракціями. Розподіл асиметричний лівосторонній за повнотою,

Результати досліджень та обговорення

Проблема вивчення поглинання вуглецю в лісових екосистемах тісно пов'язана з тенденціями у зміні клімату. Встановлення різниці між викидами вуглецю та його акумулюванням у фітомасі дерев дозволить достовірно прогнозувати стан навколишнього середовища та здійснювати вимоги Паризької угоди.

Для з'ясування кліматичних змін у регіоні дослідження, згідно з даними Волинського обласного центру з гідрометеорології (Волинський ЦМГ), проведено детальний аналіз температури повітря за період 1968–2018 рр. (рис. 4).

середньою висотою та діаметром та правосторонній - за віком і фітомасою. Коефіцієнт ексцесу вказав на гостровершинний розподіл за повнотою та плосковершинний за іншими показниками (табл. 2).

Для пошуку математичних моделей взаємозв'язку конверсійних коефіцієнтів соснових насаджень застосовувалася функція:

$$R_v = f(A, B, P, M), \quad (3)$$

де: R_v – відповідні конверсійні коефіцієнти для кожної фітофракції дерева; А, Б, П, М – вік, бонітет, повнота, запас насадження у корі (Demakov et al., 2015; Sytnyk 2019).

Як залежна змінна нами використовувалося відношення маси фракції фітомаси до стовбурового запасу деревостану в корі:

$$R_v = \frac{M_{fr}}{M}, \quad (4)$$

де: R_v – конверсійний коефіцієнт,

M_{fr} – маса фракції фітомаси в абсолютно сухому стані, т/га,

M – запас деревостану у корі, м³/га.

Таблиця 1. Кореляційна матриця основних біометричних показників соснових деревостанів та надземної фітомаси в абсолютно сухому стані

Показники	Вік, років	Повнота	Бонітет	Середня висота, м	Середній діаметр, см	Об'єм стовбура в корі, м ³	Фітомаса деревини, кг	Фітомаса кори, кг	Фітомаса крони, кг
Вік, років	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Повнота	-0,408	1,00	-	-	-	-	-	-	-
Бонітет	0,318	-0,198	1,00	-	-	-	-	-	-
Середня висота, м	0,811	-0,303	-0,176	1,00	-	-	-	-	-
Середній діаметр, см	0,885	-0,350	0,031	0,935	1,00	-	-	-	-
Об'єм стовбура в корі, м ³	0,865	-0,335	0,068	0,873	0,960	1,00	-	-	-
Фітомаса деревини, кг	0,865	-0,335	0,070	0,871	0,960	1,00	1,00	-	-
Фітомаса кори, кг	0,864	-0,333	0,051	0,883	0,964	0,999	0,999	1,00	-
Фітомаса крони, кг	0,865	-0,335	0,069	0,872	0,960	1,00	1,00	0,999	1,00

Таблиця 2. Основні статистичні характеристики таксаційних показників та компонентів надземної фітомаси дерев сосни звичайної в абсолютно сухому стані

Показники	Вік, років	Повнота	Середня висота, м	Середній діаметр, см	Об'єм стовбура у корі, м ³	Фітомаса деревини, кг	Фітомаса кори, кг	Фітомаса крони, кг
X_{cp} (середнє арифметичне значення)	65,5	0,7	19,8	25,6	0,6	225,7	19,1	29,7
S_v (стандартна помилка)	2,8	0,0	0,6	0,9	0,1	17,9	1,4	1,7
σ (стандартне відхилення)	26,4	0,1	5,8	8,6	0,4	165,7	13,1	15,6
D (дисперсія вибірки)	697,6	0,0	32,0	74,3	0,2	27441,0	171,8	241,8
E (експес)	-0,3	6,3	0,4	0,0	-0,6	0,8	0,8	0,8
A (коефіцієнт асиметрії)	0,6	-1,4	1,2	-0,7	-0,1	0,9	0,9	0,8
V (коефіцієнт варіації), %	40,3	14,4	28,6	33,7	72,9	73,4	68,7	52,4
min (мінімум)	25,0	0,2	5,0	6,0	0,0	7,2	0,9	9,1
max (максимум)	136,0	0,9	31,0	44,0	2,1	788,5	63,8	82,5

З метою отримання емпіричних рівнянь R_v були використані показники тимчасових пробних площ, на яких встановлювалася фітомаса за

рівняннями 1, 2.

У ході математичного моделювання отримані наступні рівняння:

$$R_{v(\text{дер})} = 0,338 \times A^{0,026} \quad \text{для деревини} \quad R^2=0,72 \quad (5);$$

$$R_{v(\text{кори})} = 0,070 \times A^{-0,18} \quad \text{для кори} \quad R^2=0,76 \quad (6);$$

$$R_{v(\text{крони})} = 1,11 \times A^{-0,716} \quad \text{для крони} \quad R^2=0,76 \quad (7).$$

де: $R_{v(\text{дер})}$ – конверсійний коефіцієнт деревини;

$R_{v(\text{кори})}$ – конверсійний коефіцієнт кори;

$R_{v(\text{крони})}$ – конверсійний коефіцієнт крони;

A – вік насадження.

Використовуючи отримані конверсійні коефіцієнти соснових насаджень (рівняння 5–6), встановлено запас вуглецю згідно з Формою № 5 «Розподіл лісових ділянок, вкритих лісовою

рослинністю, за 10-річними віковими періодами» державного лісового кадастру станом на 1 січня 2011 р. (останній облік насаджень), (рис. 5).

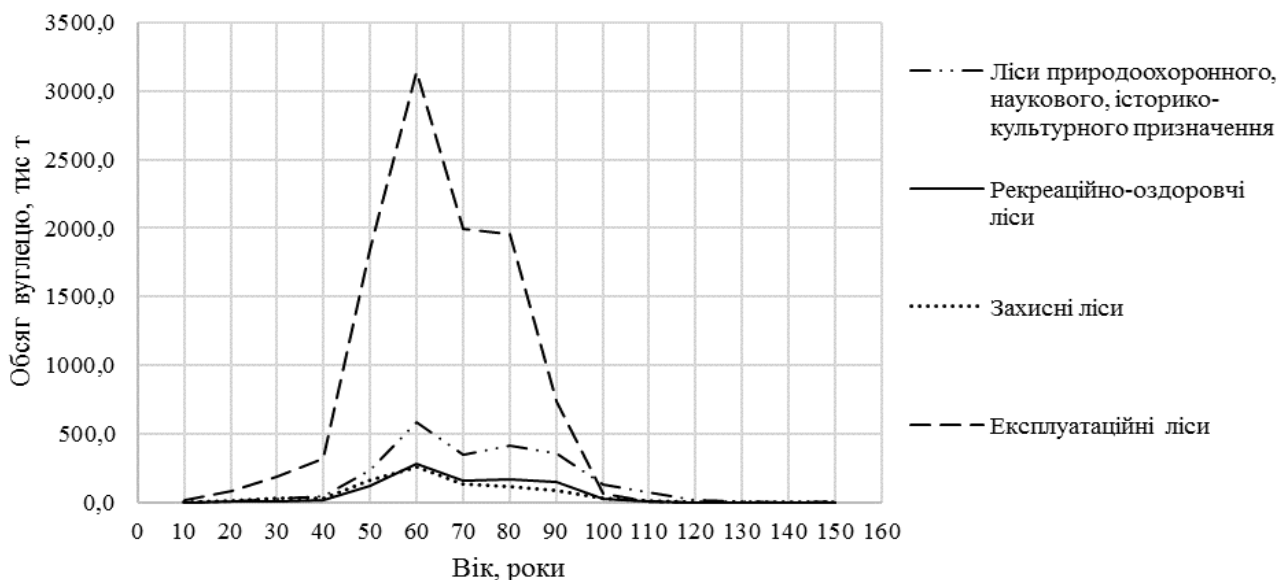


Рис. 5. Обсяг поглинання вуглецю у соснових насадженнях Волинського Полісся за категоріями лісів (станом на 1 січня 2011 р.)

Згідно з отриманими результатами аналізу встановлено, що більшість у Волинському Поліссі становлять насадження IV категорії лісів, відповідно, їх вуглецепоглиняльна здатність є порівняно найбільшою. Серед експлуатаційних лісів найбільшу вуглецеакумуляуючу здатність мають насадження VII класу віку, обсяг яких становить 3 млн т вуглецю (рис. 5).

За даними Головного управління статистики Волинської області найбільшими забруднювачами довкілля викидами діоксиду вуглецю є

стаціонарні та пересувні джерела забруднення (табл. 3).

За отриманими конверсійними коефіцієнтами, враховуючи вікові зміни соснових насаджень різної категорії лісів Волинського Полісся та їх запас, встановлено щорічне депонування вуглецю, починаючи з 2005 року (табл. 3).

Щорічно соснові ліси Волинського Полісся поглинають від 9,0–16,0 тис. т вуглецю з повітря, знижуючи щорічні викиди діоксиду вуглецю на 0,6–3,2 %.

Таблиця 3. Порівняльні дані антропогенних викидів вуглецю та його деponування сосновими лісами Волинського Полісся, 2005–2018 рр.

Роки	Кількість деponованого вуглецю за роками, млн т	Загальний обсяг щорічного поглинання вуглецю, млн т	Щорічні викиди вуглецю в атмосферне повітря, млн т	Різниця між викидами та деponуванням вуглецю за рік, млн т
2005	14,6	–	–	–
2006	14,6	0,009	0,7	0,69
2007	14,6	0,009	1,6	1,59
2008	14,6	0,010	1,4	1,39
2009	14,6	0,011	1,2	1,19
2010	14,6	0,012	1,3	1,29
2011	14,7	0,012	1,4	1,39
2012	14,7	0,013	1,4	1,39
2013	14,7	0,014	1,3	1,29
2014	14,7	0,014	1,2	1,19
2015	14,7	0,015	1	0,99
2016	14,7	0,015	0,5	0,48
2017	14,7	0,016	0,5	0,48
2018	14,8	0,016	0,5	0,48

*Примітка: з 2004 р. – по автомобільному, залізничному транспорту; з 2007 р. – по автомобільному, залізничному транспорту та виробничій техніці.

Втрата 243 тис. га соснових насаджень через всихання спричиняє не тільки екологічні проблеми, але і економічні, адже Україна мала би значні прибутки від продажу квот на світовому ринку, беручи активну участь у Паризькій угоді.

Висновки

Проаналізовано кліматичні зміни за період 1968–2018 рр., встановлено тенденцію до зростання середньорічної температури повітря на 2 °С у регіоні дослідження.

За допомогою отриманих емпіричних рівнянь встановлено, що експлуатаційні соснові ліси, які переважають у Волинському Поліссі, у VII класі віку у своїй фітомасі накопичують 3 млн т вуглецю.

З'ясовано, що соснові насадження Волинського Полісся щорічно поглинають в межах 9,0–16,0 тис. т, знижуючи викиди парникових газів від стаціонарних та пересувних джерел забруднення від 0,6 до 3,2 %.

References

- Alekseyev, I. A., Kurnenkova, I. P., Cheshuin, A. N., Berdinskikh, S. Yu., Stepanova, T. V., Vakhrushev, K. V. & Kotok, O. N. (2006). Patent Rossiyskoy Federatsii 2272402 S2. Retrieved from <https://patents.google.com/patent/RU2272402C2/ru> [in Russian].
- Atkin, A. S. & Atkina, L. I. (1999). Sposob i dinamika organicheskoy massy v lesnykh soobshchestvakh [The method and dynamics of organic matter in forest communities]. Ekaterinburg : UGLTA [in Russian].
- Borovikov, A. M. & Ugolev, B. N. (1989). Spravochnik po drevesine [Handbook on wood]. Moskva : Lesnaya promyshlennost [in Russian].
- Buksha, I. F., Butrim, O. V. & Pasternak, V. P. (2008). Inventaryzatsiia parnykovykh haziv u sektori zemlekorystuvannia ta lisovoho hospodarstva [Inventarizatsiia greenhouse gas sector of land use

that lisovoe economy]. Kharkiv : KhNAU [in Ukrainian].

Churokov, B. P. & Manyakina, E. V. (2012). Deponirovanie ughleroda raznovozrastnyimi kulturami sosnyi [Carbon sequestration pine cultures of different ages]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal*, 1, 125–129 [in Russian].

Danilov, D. A., Belyayeva, N. V. & Gryazkin, A. V. (2018). Osobennosti formirovaniya zapasa i tovarnoy strukturyi modalnykh hvoynykh drevostoev sosnyi i eli k vozrastu spelogo nasazhdeniya [Features of Yield and Commodity Composition of Pine and Spruce Modal Coniferous Stands for the Age of Mature Stands]. *Lesnoy zhurnal*, 2, 40–48. doi: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.40 [in Russian].

Demakov, Yu. P., Puryaev, A. S., Chernykh, V. L. & Chernykh L. V. (2015). Ispolzovanie allometricheskikh zavisimostey dlya otsenki fitomassyi razlichnykh fraktsiy derevev i modelirovaniya ih dinamiki. [Using allometric relationships for evaluation of various trees phytomass fractions and their dynamics simulation]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta*, 2 (26), 19–36 [in Russian].

Derzhavne ahentstvo lisovykh resursiv Ukrainy (2017). Publichnyi zvit holovy Derzhavnogo ahentstva lisovykh resursiv Ukrainy za 2017 rik [The public report of the chairman of the State Agency of forest resources of Ukraine for 2017]. Kyiv. Retrieved from <http://komekolog.rada.gov.ua/uploads/documents/35328.pdf> [in Ukrainian].

Ekspertno-doradchyi tsentr «Pravova analityka» (2018). Yevropeiska systema torhivli vykydamy ta perspektyvy vprovadzhennia systemy torhivli vykydamy v Ukraini [The European emissions trading system and prospects for the introduction of emissions trading in Ukraine]. Kyiv [in Ukrainian].

Gerasimovich, A. I. & Matveeva, Ya. I. (1978). Matematicheskaya statistika [Math statistics]. Minsk : Vyisheyshaya shkola [in Russian].

Hrynyk H. H., Zadorozhnyi A. I. (2018). Modeli dynamiky nadzemnoi fitomasy derev yalyny yevropeiskoi zalezho vid yikhnikh taksatsiinykh pokaznykiv u perevazhaiuchykh typakh lisoroslynykh umov Polonynskoho khrebtu Ukrainy Karpats [Some Models of Dynamics of Above-Ground Phytomass of Spruce Trees Depending on their Assessment Indices in the Prevailing Forest Types of Polonynsky Range of the Ukrainian Carpathians]. *Naukovyi visnyk NLTU*

Ukrainy, 28 (2), 9–19. doi: <https://doi.org/10.15421/40280201> [in Ukrainian].

Kashpor, S. M. & Stochynskiy, A. A. (2013). Lisotaksatsiinyi dovidnyk [Lisotaksatsiinyy Directory]. Kyiv : Vydavnychiy dim «Vinnichenko» [in Ukrainian].

Kischenko, I. T. (2019). Formirovanie drevesinyi stvola Picea abies (L.) Karst. v raznykh tipakh soobshchestv taezhnoy zonyi [Formation of Picea abies (L.) Karst. Trunk Wood. in Different Taiga Zone Communities]. *Lesnoy zhurnal*, 1, 32–39. doi: 10.17238/issn0536-1036.2019.1.32 [in Russian].

Klevtsov, D. N., Tyukavina, O. N. & Adayi, G. M. (2018). Bioenergeticheskii potentsial nadzemnoy fitomassyi kultur sosnyi obyknovennoy taezhnoy zonyi [Bioenergy Potential of Aerial Phytomass of Scots pine in the Middle Taiga Forest Region]. *Lesnoy zhurnal*, 4, 49–55. doi: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.49 [in Russian].

Kobzar, A. I. (2006). Prikladnaya matematicheskaya statistika [Applied Mathematical Statistics]. Moskva : FIZMATLIT [in Russian].

Lakyda, P. I. (2002). Fitomasa lisiv Ukrainy [Forest biomass Ukraine]. Ternopil : Zbruch [in Ukrainian].

Lovynska, V. M. (2018). Lokalna shchilnist komponentiv fitomasy stovbura sosny zvychnoi (Pinus sylvestris L.) Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Lokalna shchilnist komponentiv fitomasy stovbura sosni zvychnoi (Pinus sylvestris L.) Pivnichnoho Stepu Ukrayini]. *Visnyk ahromoi nauky Prychornomia*, 3, 73–78. doi:10.31521/2313-092X/2018-3(99)-12 [in Ukrainian].

Lovynska, V. M. (2018). Nadzemna fitomasa stovburiv Pinus Sylvestris L. u derevostanakh pivnichnoho stepu Ukrainy [Above-ground biomass trunks Pinus sylvestris L. stands in the northern steppes of Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 28 (8), 79–82. doi: <https://doi.org/10.15421/40280816/> [in Ukrainian].

Orhanizatsiia Obiednanykh Natsii (2015). Parizka ugoda OON [Paris Agreement of the UN]. Kyiv. 2016. Retrieved from http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/995_161 [in Ukrainian].

Partnerstvo zarady rynkovoi hotovnosti v Ukraini (PMR) (2019). Propozytsii shchodo rozvytku instrumentiv vuhletsevoho tsinoutvorennia v Ukraini: zvit z modeliuvannia [Proposals for the development of carbon pricing instrument in Ukraine: Report on modeling]. Retrieved from

https://menr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty.pdf [in Ukrainian].

Pochtovyuk, A. B. & Pryakhina, E. A. (2012). Torgovlya kvotami kak odin iz mekhanizmov Kiotskogo protokola [Emissions trading as one of the Kyoto Protocol]. *Problemy sovremennoy ekonomiki*, 3 (43), 300–304 [in Russian].

Poluboyarinov, O. I. (1976). Plotnost drevesiny [Wood density]. Moskva : Lesnaya promyshlennost [in Russian].

Schepaschenko, D. G., Shvidenko, A. Z. & Shalayev, V. S. (2008). Biologicheskaya produktivnost i byudzhnet ugleroda listvennichnykh lesov Severo-Vostoka Rossii [Biological productivity and carbon budget of the larch forests of the North-East of Russia]. Moskva : GOU VPO MGUL [in Russian].

Shvidenko, A. Z., Strochinskiy, A. A., Savich, Yu. N. & Kashpor, S. N. (1987). Normativno-spravochnyye materialy dlya taksatsii lesov Ukrainy i Moldavii [Regulatory and reference materials for the forest inventory in Ukraine and Moldova]. Kiev : Urozhay [in Russian].

Solovii, I. (2016). Otsinka mizhnarodnoho dosvidu ta protsedur/rehuliuvan shchodo kontseptsii platy za posluhy ekosystem v lisovomu sektori [Evaluation of international practices and procedures / regulations on the concept of payment for ecosystem services in the forestry sector]. Retrieved from http://sfmu.org.ua/files/Soloviy_2016.pdf [in Ukrainian].

Sytnyk, S. A. (2019). Modeliuvannia komponentiv fitomasy stovburiv robiniiievkykh derevostaniv Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Modeling of the trunk phytomass components of black locust stands in Northern Steppe of Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 29 (3), 48–51. doi: <https://doi.org/10.15421/40290310> [in Ukrainian].

Tretyakov, S. V. (Ed.). (2006). Kiotskiy protokol. Istoriya razvitiya, tseli i printsipy. Proektyi sovmesnogo osuschestvleniya v Ukraine [Kyoto Protocol. The history of development, goals and principles. Joint Implementation Projects in Ukraine]. Donetsk : OOO «UKRDRUK» [in Ukrainian].