

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет лісового  
господарства та екології  
Кафедра екології  
Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**Третяк Сергій Віталійович**

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти)

**УДК 581.1:582.091:630\*1**

(індекс)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Вуглецепоглинальна та киснетвірна здатність соснових насаджень  
заповідної зони Яворівського національного природного парку  
(тема роботи)**

**101 – екологія**

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.

Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають  
посилання на відповідне джерело

---

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

**Никитюк Юрій Андрійович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

**доктор філософії в галузі**

**природничих наук, д.е.н.**

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2022

**Висновок кафедри** \_\_\_\_\_

за результатами попереднього захисту: \_\_\_\_\_

Протокол засідання кафедри \_\_\_\_\_

№ \_\_\_\_\_ від «\_\_\_\_\_» грудня 2022 р.

В.о. завідувача кафедри

К.С.-Г.Н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

Піциль Андрій Орестович

(прізвище, ім'я, по батькові)

«\_\_\_\_\_» грудня 2022 р.

### **Результати захисту кваліфікаційної роботи**

Здобувач вищої освіти **Третяк Сергій Віталійович** захистив

(прізвище, ім'я, по батькові)

кваліфікаційну роботу з оцінкою:

сума балів за 100-бальною шкалою \_\_\_\_\_

за шкалою ECTS \_\_\_\_\_

за національною шкалою \_\_\_\_\_

Секретар ЕК

\_\_\_\_\_

(науковий ступінь, вчене звання)

\_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

## АНОТАЦІЯ

Третяк Сергій Віталійович: «Вуглецепоглинальна та киснетвірна здатність соснових насаджень заповідної зони Яворівського національного природного парку». Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 101 – екологія – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

У кваліфікаційній роботі розглядаються питання вуглецепоглинальної та киснетвірної здатності соснових деревостанів заповідної частини Яворівського національного природного парку.

Яворівський Національний природний парк розташований він у Львівській області Яворівського району, смт Івано-Франкове, площа парку становить 7108 га.

Українському Розточчі, де розташований парк, спостерігаються певні кліматичні зміни. За період 1961-2022 рр. середньорічна сума опадів зросла на 2°C, а середньорічна сума опадів збільшилася на 10 мм.

Для проведення наукових досліджень, закладено в соснових лісах заповідної зони 9 пробних площ в різновікових насадженнях.

З метою проведення статистичного аналізу в *Microsoft Excel* відібрано 245 модельних дерев. За біометричними показниками, вік, ріст, діаметр, встановлено причиннонаслідкові взаємозв'язки та побудовано тривимірний поверхневий графік залежностей.

В ході проведеного аналізу визначено, що загальна фітомаса соснових лісів заповідної частини парку становить 38,9 тис. т.

Визначена частка поглинутого вуглецю фітомасою деревостану яка становить для хвої – 1 т/га, деревної зелені – 3 т/га, кори – 4 т/га, гілля – 5 т/га, деревини – 85 т/га.

Загальна кількість поглинутого вуглецю сосновими деревостанами заповідної зони становить 18,5 тис. т.

З'ясовано, що середньостатична щорічна кількість викидів  $\text{CO}_2$  в регіоні дослідження становить 3,5 млн т. Визначено, що соснові деревостани заповідної зони щорічно зменшують викиди діоксиду вуглецю на 0,58%.

Згідно з проведеним аналізом киснепродуктивна здатність соснових деревостанів у заповідній частині парку становить 53,6 тис. т. Киснетвірна здатність за окремими фракціями сосни становить для деревної зелені – 7 т/га, кори – 11 т/га, гілля – 13 т/га, деревини – 237 т/га.

**Ключові слова:** сосна, діаметр, висота, вік, статистика, фітомаса, вуглець, кисень.

## ANNOTATION

Tretyak Serhiy Vitaliyovych: "Carbon absorbing and oxygen producing capacity of pine plantations of the protected zone of the Yavoriv National Nature Park". Qualification work for obtaining a master's degree in the specialty 101 – ecology – Polissia National University, Zhytomyr, 2022.

In the qualification work, the issues of carbon absorption and oxygen-forming capacity of pine stands of the protected part of the Yavoriv National Natural Park are considered.

Yavorovsky National Natural Park is located in the Lviv region of the Yavorovsky district, Ivano-Frankivske, the park area is 7108 hectares.

In Ukrainian Roztochie, where the park is located, certain climatic changes are observed. For the period 1961-2022. the average annual precipitation increased by 2°C, and the average annual precipitation increased by 10 mm.

To conduct scientific research, 9 trial plots in plantations of different ages were laid out in the pine forests of the protected area.

For the purpose of statistical analysis, 245 model trees were selected from Microsoft Excel. Based on biometric indicators of age, height, diameter, cause-and-effect relationships were established and a three-dimensional surface graph of dependencies was built.

In the course of the analysis, it was determined that the total phytomass of pine forests in the reserved part of the park is 38.9 thousand tons.

The share of carbon absorbed by the forest stand phytomass was determined, which is 1 t/ha for needles, 3 t/ha for tree greens, 4 t/ha for bark, 5 t/ha for branches, and 85 t/ha for wood.

The total amount of carbon absorbed by pine stands of the protected area is 18.5 thousand tons.

It was found that the average statistical annual CO<sub>2</sub> emissions in the study region is 3.5 million tons. It was determined that the pine stands of the protected area annually reduce carbon dioxide emissions by 0.58%.

According to the analysis carried out, the oxygen productivity of pine stands in the protected part of the park is 53.6 thousand tons ha, wood - 237 tons/ha.

Key words: pine, diameter, height, age, statistics, phytomass, carbon, oxygen.

## ЗМІСТ

|                                           |                                                                                   |    |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| АНОТАЦІЯ.....                             |                                                                                   | 3  |
| ЗМІСТ.....                                |                                                                                   | 5  |
| СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ В СКОРОЧЕНЬ..... |                                                                                   | 8  |
| ВСТУП.....                                |                                                                                   | 9  |
| РОЗДІЛ I                                  | РОЛЬ ВУГЛЕЦЮ ТА КИСНЮ В ЛІСОВИХ<br>ЕКОСИСТЕМАХ ЯВОРІВСЬКОГО НПП.....              | 12 |
|                                           | 1.1. Загальна характеристика об'єкта дослідження.....                             | 12 |
|                                           | 1.2. Цикл вуглецю та кисню в лісових екосистемах.....                             | 15 |
| РОЗДІЛ II                                 | МЕТОДИКА ТА ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ.....                                                | 21 |
|                                           | 2.1. Методика проведення досліджень.....                                          | 21 |
|                                           | 2.2. Об'єкт досліджень.....                                                       | 22 |
| РОЗДІЛ III                                | ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ<br>УКРАЇНСЬКОГО РОЗТОЧЧЯ.....                           | 26 |
| РОЗДІЛ IV                                 | ПОГЛИНАННЯ ВУГЛЕЦЮ ТА ПРОДУКУВАННЯ<br>КИСНЮ СОСНОВИМИ ДЕРЕВОСТАНАМИ.....          | 29 |
|                                           | 3.1. Особливості росту та розвитку соснових насаджень.                            | 29 |
|                                           | 3.2. Біопродуктивність соснових деревостанів в<br>заповідній частині парку.....   | 32 |
|                                           | 3.3. Поглинання вуглецю та продукування кисню<br>природними сосновими лісами..... | 33 |
| ВИСНОВКИ.....                             |                                                                                   | 37 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....           |                                                                                   | 38 |
| ДОДАТКИ.....                              |                                                                                   | 44 |

## СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ В СКОРОЧЕНЬ

НПП – національний природний парк;

ПОНДВ – природоохоронне науково-дослідне відділення;

ТПП – тимчасова пробна площа;

Бкл – бук лісовий;

Сз – сосна звичайна;

Дз – дуб звичайний;

Гз – граб звичайний;

Яле – ялина європейська;

Клг – клен гостролистий;

кв. – квартал;

в. – виділ;

м<sup>3</sup> – метр кубічний;

кг – кілограм;

т – тонна;

см – сантиметр;

га – гектар.

## ВСТУП

У розташованому в Українському Розточчі соснові деревостани заповідної зони займають друге місце після букових лісів. Головною цілю лісів Розточчя є збереження місцевої флори й фауни, особливо це стосується недоторканих заповідних лісів. Окрім естетичної, природозберігаючої функції ліси також відіграють важливу роль у кліматостабілізуючих процесах. Особливо ці дослідження є важливими враховуючі, що останні десятиріччя спостерігаються кліматичні зміни у навколишньому середовищі. Сучасні наукові дослідження, часто звертають увагу на вуглецепоглиняльну та киснетвірну здатність великих масивів штучно створених насаджень, але слід пам'ятати що заповідні ліси також беруть участь в процесі фотосинтезу чим покращують клімат планети.

Враховуючі вище представлені твердження наші дослідження були зосереджені на фотосинтезувальній здатності соснових лісів заповідної зони Яворівського національного природного парку.

Для того, щоб виконати поставлену задачу ми розглянули вже відомі у науці підходи та методи.

Вивченням екологічного значення надземних екосистем займалися наступні науковці: Голубець М.А. [6], Лаптев О.О. [15] та ін. [2, 4, 7, 8]. Динаміку росту та розвитку деревних насаджень вивчали: Білокінь І.П. [1], Кефели В.І. [9], Кофман Г.Б. [12], Терек О.І., Пацула О.І. [44] та ін. Фотосинтез рослин – Мусієнко М.М. [35], Ситник К.М., Мусатенко Л.І., Богданова Т.Л. [43], Федоров А.К. [45], Шульгин І.А. [48]. Біологічну продуктивність та кліматостабілізуче значення лісів: Букша І.Ф., Бутрим О.В., Пастернак В.П. [3], Лакида П.І. [13, 14], Лієпа І.Я. [16], Ловинська В.М. [17, 18], Мороз В.В., Никитюк Ю.А. [19-34, 37, 51, 52], Мякушк В.К. [36] та ін. [38, 39, 50].

Ріст, розвиток, біомаса дерева та кліматостабілізуюча здатність лісів залежить від декількох чинників: рельєф, клімат, ґрунт, освітлення, антропогенний вплив.

Ціллю кваліфікаційної роботи є оцінити кліматичні зміни в регіоні дослідження (Українське Розточчя), надати характеристику динаміки росту та розвитку соснових деревостанів заповідної частини Яворівського національного природного парку, встановити їх біологічну продуктивність, вуглецепоглиняльну та киснетвірну здатність.

**Актуальність теми** полягала у визначення поглинання вуглецю та продукування кисню сосновими деревостанами заповідної частини Яворівського національного природного парку.

**Мета і завдання.** Метою кваліфікаційної роботи є визначити кліматостабілізуючу здатність соснових деревостанів заповідної зони Яворівського НПП за окремими фракціями.

**Завдання:**

- надати оцінку кліматичним змінам регіону дослідження;
- встановити динаміку росту та розвитку соснових деревостанів залежно від їх віку;
- з'ясувати біологічну продуктивність соснових деревостанів за їх фракціями;
- встановити вуглецепоглиняльну здатність соснових деревостанів за фітофракціями;
- встановити киснепродукуючу здатність соснових деревостанів за фітофракціями;
- оцінити зниження викидів CO<sub>2</sub> за рахунок соснових лісів заповідної частини Яворівського НПП.

**Об'єкт досліджень** – соснові деревостани заповідної частини Яворівського національного природного парку.

**Предмет досліджень** – динаміка розвитку, біопродуктивність, поглинання вуглецю та продукування кисню сосновими лісами заповідної частини парку.

**Методи досліджень:** камеральний – вивчення літописів Яворівського НПП, лісівничо-таксаційних матеріалів, аналіз одержаних результатів дослідження, польовий – закладання пробних площ на території парку, вимір біометричних показників дерева; математико-статистичні – проведення статистичного аналізу за допомогою пакету аналізу даних Microsoft Excel, екологічні – встановлення кількості поглинання вуглецю та продукування кисню сосновими лісами заповідної частини парку.

***Перелік публікацій автора за темою дослідження:***

Никитюк Ю.А., Мороз В.В., Третяк С.В. Поглинання вуглецю та продукування кисню сосновими деревостанами заповідної зони Яворівського НПП. *Journal of science. Lyon*. 2022. № 37. С. 6-11.

***Практичне значення отриманих результатів.***

Результати кваліфікаційної роботи можна використовувати для аналізу кліматостабілізуючої здатності соснових лісів Яворівського національного природного парку.

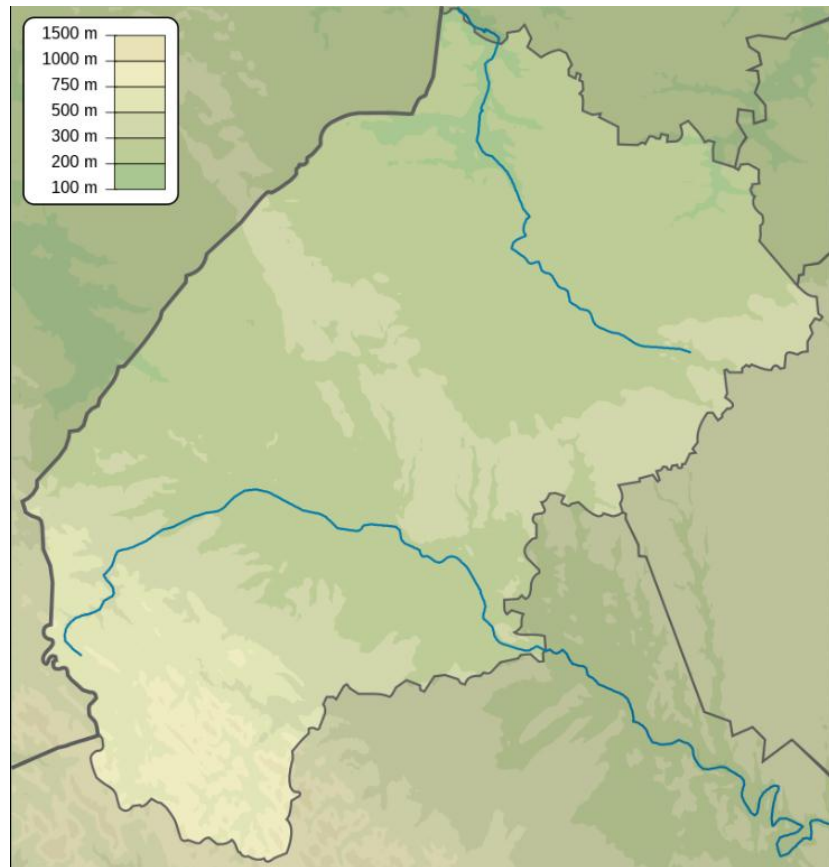
***Структура та обсяг роботи.*** Кваліфікаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновку, додатків. Викладена на 50 сторінках комп'ютерного тексту. Робота містить 3 таблиці, ілюстрована 14 рисунками. Список використаної літератури нарахує 52 літературних джерела.

## РОЗДІЛ І

### РОЛЬ ВУГЛЕЦЮ ТА КИСНЮ В ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ ЯВОРІВСЬКОГО НПП

#### 1.1. Загальна характеристика об'єкта досліджень

Яворівський Національний природний парк створено у 1998 р., площа парку становить 7108 га, розташований він у Львівській області Яворівського району, смт Івано-Франкове (25 км від м. Львів) [41, 42] (рис. 1.1).



**Рис. 1.1. Територія Яворівського НПП**

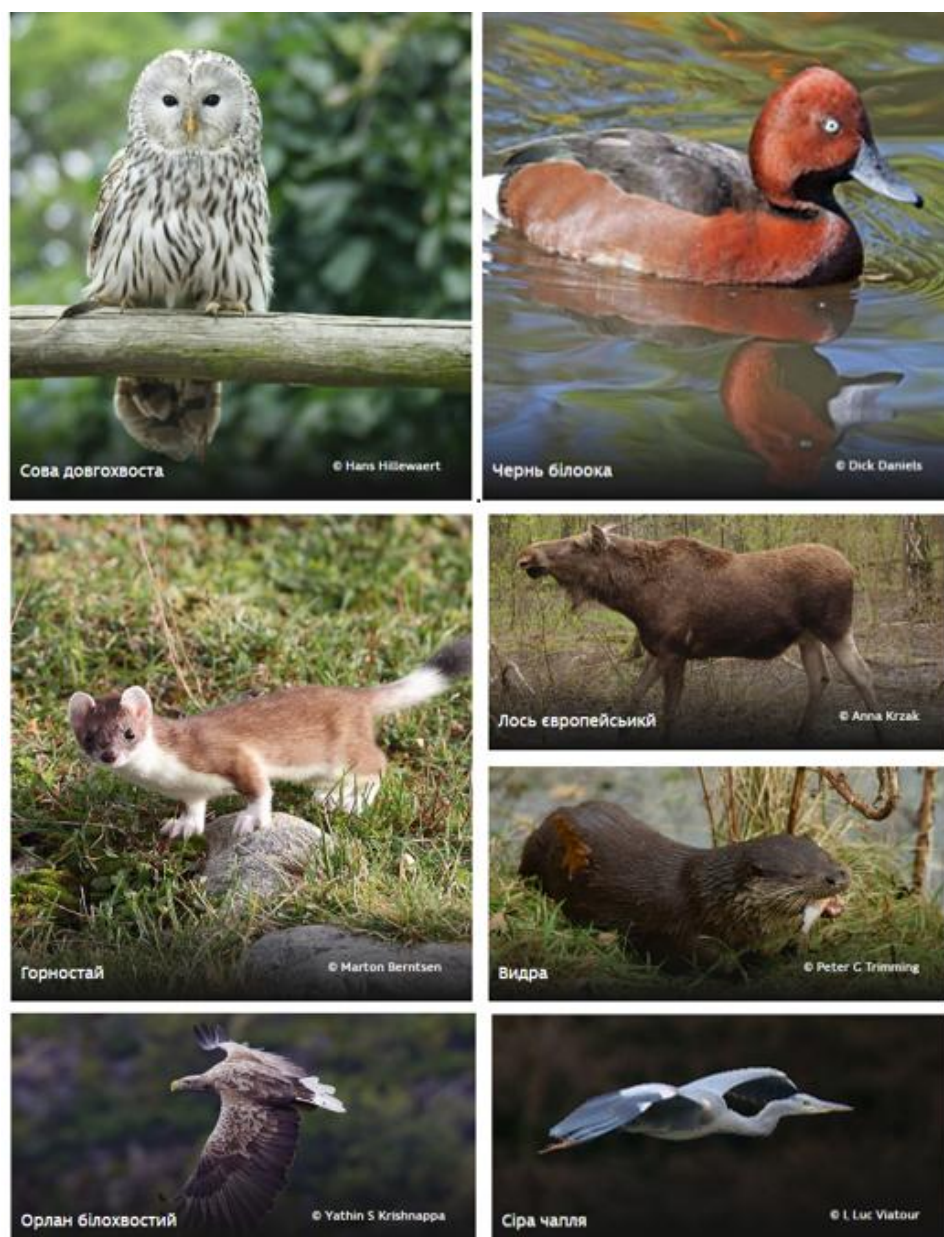
Парк знаходиться у межах Східного (Українського) Розточчя в унікальних лісостепових ландшафтів у районі Головного європейського вододілу де початок беруть річки басейнів Чорного та Балтійського морів [41, 42].

Цінність парку полягає у різноманітності флори й фауни. Тут налічується 714 видів судинних рослин з яких 21 вид занесено до Червоної книги України. Окрім того, 15 видів флори та фауни знаходяться під охороною Конвенції про міжнародну торгівлю видами що перебувають під загрозою зникнення (CITES), 2 види під охороною Бернської конвенції [41, 42] (рис. 1.2).



**Рис. 1.2. Флора Яворівського НПП (джерело: <https://yavorivskiy-park.in.ua/doslidzhuy/pryrodni-tsinnosti/flora/>)**

Серед тваринного світу, який налічує 299 видів, трапляються: дика свиня, сарна європейська, лисиця, заєць, уссурійський єнот, олень благородний, лось, видра річкова, горностай, чорний лелека. З них 51 вид занесено до Червоної книги України, 12 до Європейського червоного списку та 246 видів мають особливу охорону відповідно до Бернської Конвенції. Цінність парку полягає в тому, що в ньому зосереджено біорізноманіття трьох географічних зон – Українських Карпат, Поділля, Українського Полісся [41, 42] (рис. 1.3).



**Рис. 1.3. Фауна Яворівського НПП (джерело: <https://yavorivskyi-park.in.ua/doslidzhuy/pryrodni-tsinnosti/fauna/>)**

На території парку функціонують культові споруди, музеї.

Яворівський НПП розміщено на колишніх територіях військових лісгоспів Магерівського та Старичівського.

Однією деревною породою парку, що переважає, є сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) її частка у заповідній зоні становить 19,4 %. Зазначена порода займає друге місце після бука лісового (*Fagus sylvatica* L.).

## **1.2. Цикл вуглецю та кисню в лісових екосистемах**

Мезофіл листя – це місце, де відбувається фотосинтез в рослинах. Хлорофіл міститься в тилакоїдах, які являють собою дископодібні структури, знайдені на хлоропластах. Хлорофіл поглинає частину видимого спектра і випромінює енергію в результаті її поглинання [9, 13].

Під час фотосинтезу, який відбувається в листі, виділяється вуглекислий газ і вода, а енергія Сонця перетворюється в хімічні сполуки, наприклад, цукор, який живить дерево. В результаті такої хімічної реакції дерево виробляє і виділяє кисень [9].

Перетворення світлової енергії в хімічну відбувається в результаті фотосинтезу. Рослини та бактерії можуть як фотосинтезувати, так і деякі інші види клітинних організмів. Листя рослин містять всі необхідні інгредієнти для фотосинтезу. Фотосинтез призвів до створення планети, яку ми зараз називаємо Землею. Через високий рівень вуглекислого газу деякі рослини виробляють глюкозу і пригнічують фоторепірування [35].

Фотосинтез – це джерело енергії, що дозволяє рослинам рости й розмножуватися. Рослини використовують цей метод, навіть якщо у них відсутні листя. Фотосинтез – це вид виробництва енергії, який виробляється в результаті поглинання світла [9, 43].

Рослини виробляють широкий спектр вуглеводів за допомогою процесу фотосинтезу в метаболічному циклі С3. CO<sub>2</sub> поглинається

рибулозобісфосфаткарбоксилаза (РБФК, RuBisCo) у фотосинтезі С<sub>3</sub>, що перетворює його на вуглеводи одночасно [35, 48].

Рослини покладаються на сонячне світло, воду та гази в повітрі, щоб виробляти глюкозу, тип цукру, який їм потрібен для виживання. Рослини, водорості і навіть деякі мікроорганізми виконують цей процес в процесі фотосинтезу [35].

Рослини зберігають в своєму листі всі необхідні інгредієнти для фотосинтезу, тому це поширене явище. Коренева система транспортує воду від землі до листя. Вуглекислий газ потрапляє в пори листя, відомі як продихи, так само як і кисень. Рослини поглинають вуглець під час фотосинтезу і зберігають його в своїх стеблах, гілках і коренях, в результаті чого значна кількість вуглецю видаляється з атмосфери. Цей надлишок вуглецю переноситься такими природними процесами, як щорічний листопад і відмирання дерев, в результаті чого утворюється лісовий ґрунт [44, 48].

Під час фотосинтезу рослини використовують сонячне світло для вироблення енергії, відбувається процес фотосинтезу, за допомогою якого дерева перетворюють сонячне світло в цукру. Вважається, що дерева виробляють електроенергію. Дереву діють як запас енергії, діючи як крохмаль у мережі вмісту живих клітин, відомій як симпласт [35, 48].

Дереву виробляють кисень як побічний продукт фотосинтезу, який є процесом, що використовується для перетворення світлової енергії в хімічну енергію, яка може бути використана рослинами для отримання глюкози з вуглекислого газу і води [1].

Кисень – газ, необхідний для всього живого на нашій планеті, і відіграє важливу роль в екосистемі планети. В процесі фотосинтезу найбільшу кількість кисню виробляють клени, буки, ялиці, ялини, ялиця Дугласа. Середньовікове дерево клена сріблястого може виробляти кількість кисню за один день для двох осіб. Дерево бука споживає 5,5 кілограма вуглекислого газу за годину. Акр ялинок може забезпечити 18 осіб достатньою кількістю

кисню. Зріла ялина норвезька виділяє на 58% більше вуглекислого газу, ніж, наприклад, бук. Процес фотосинтезу у дерев є одним з первинних компонентів вироблення ними кисню [1, 15].

Дерева виробляють переважну більшість кисню на нашій планеті протягом весни та літа.

Коли у дерева більше листя, вміст кисню збільшується. На швидкість фотосинтезу дерева впливає його температура. Коли дерево активно росте, для дозрівання йому потрібно більше глюкози. Листопадне і вічнозелене дерево може виробляти високу кількість кисню. У листяних дерев листя, як правило, виростає більш рельєфними, що дозволяє їм поглинати більше сонячного світла. За даними Nature, зараз у світі налічується понад 3,1 трильйона дерев [15].

Кількість вуглекислого газу, виробленого одним автомобілем, дорівнює кількості, що виділяється акром дерев.

Листя дерева наповнені клітинами, які спеціально пристосовані для захоплення сонячного світла та перетворення його в хімічну енергію, яку дерево може використовувати для росту та розвитку. Ці клітини розташовані в хлоропластах, які є органелами, що знаходяться в клітинах листа. Хлоропласти містять зелений пігмент під назвою хлорофіл, який допомагає клітинам листа поглинати сонячне світло. Енергія сонячного світла використовується для розщеплення молекул води на атоми водню і кисню. Атоми водню з'єднуються з молекулами вуглекислого газу з повітря, утворюючи молекули глюкози. Дерево використовує молекули глюкози для отримання енергії, а кисень виділяється в повітря [43, 48].



**Рис. 1.4. Процес фотосинтезу рослин**

Вода потрібна для процесу фотосинтезу, вона проходить через судинні тканини на листках рослини, несучи з собою глюкозу. Вода надає силу тяжіння через ксилему і флоему в результаті капілярної дії. Продихи листа відповідають за те, щоб гази проходили через нього і виходили з нього. Водяна пара виділяється через листя рослини шляхом транспірації, яка також підтримується продихами. Рослини мають спеціальні органели, які можуть здійснювати фотосинтез у великих масштабах (між верхнім і нижнім епідермісом) [15].

Клітинне дихання дерев необхідне для того, щоб виробляти АТФ, або енергію. Процес клітинного дихання передбачає поглинання кисню і вивільнення вуглекислого газу.

Типове дерево виробляє 117 кг кисню на рік,

Щорічно одне повністю підросле дерево дає майже 117934 кілограмів кисню, а 1 акр лісу поглинає 6 т  $\text{CO}_2$  і виділяє 4 т кисню. Незважаючи на те,

що люди дихають близько 9,5 тонн повітря на рік, кисень становить приблизно 23% цього повітря.

Більшість дерев взимку сповільняють процес фотосинтезу, а листяні дерева, які втрачають листя і зовсім перестають фотосинтезувати. Процес припинення починається восени в міру опадання листя. Метаболізм дерев, споживання енергії та зростання сповільнюються під час спокою [45].

Як тільки листя висохнуть, енергія виділяється в атмосферу виділенням кисневого газу. Коли з дерев опадає листя, вони переходять в стан спокою, яке триває весь рік. Коли дерево знаходиться в стані спокою, його метаболізм сповільнюється, енерговитрати знижуються, а зростання значно сповільнюється, щоб пережити суворий зимовий сезон, коли потреба у воді і сонячному світлі більша. Це захворювання поширюється по стадіях, починаючи з випадання листя восени. В першу чергу листя втрачають забарвлення. Зниження інтенсивності світла пояснюється частково більш короткими днями і зниженням інтенсивності. Після цього листя починає опадати з дерева, а гілки починають никнути. Після того як хвоя опаде, кора дерева стає корковою. Деревина мають здатність витримувати холодні температури, встановлюючи стан спокою. Багато дерев загинули якщо б не існував стан спокою [45].

*Вплив температури на фотосинтез.* З точки зору фотосинтезу, температура є одним з факторів, які впливають на її швидкість. Коли температура збільшується, процес фотосинтезу прискорюється. Причиною цього є те, що фотосинтез є хімічною реакцією, і температура викликає більшість хімічних реакцій.

Якщо концентрації  $\text{CO}_2$  зростають, показники фотосинтезу збільшуються. Особливо це проблематично для рослин які зростають в умовах  $\text{C}_3$ , при високих температурах і водних обмеженнях. Дефіцит тиску пари в атмосфері може зростати через підвищення температури, з одночасним збільшенням швидкості транспірації з рослинних навісів [35, 43].

Після довгого дня глюкоза перетворюється в енергію за допомогою аденозинтрифосфornoї кислоти (АТФ), яка починає фотосинтез. Рослина використовує цю енергію для запуску своїх процесів, таких як дихання. Рослині для зростання потрібна вода, яку вона бере з ґрунту. Як тільки цю воду забирає листя, вона транспірується в атмосферу [43].

Зимові температури надають ряд впливів на рослини. Незважаючи на те, що високі температури знижують фотосинтез, холодні температури підвищують його. Через холодних температур листя замерзають, в результаті чого пошкоджуються листя [9, 12, 45].

## РОЗДІЛ II

### МЕТОДИКА ТА ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Методика проведення досліджень

Перший етап досліджень містив в себе детальний аналіз таксаційного опису земельних ділянок лісового фонду Яворівського НПП. На основі вивченого матеріалу були відібрані пробні площі.

На відібраних пробних площах, було здійснено по деревний облік дерев за допомогою висотоміру ІУ1М (для виміру висоти дерева), мирної вилки алюмінієвої Haglof (для виміру діаметра дерева на висоті 1,3 м). Пробні площі закладали відповідно до СОУ 02.02-37-476:2006 «Пробні площі лісовпорядні. Метод закладання» [40].

Санітарний стан соснового деревостану визначали відповідно до постанови Кабінету Міністрів України (КМУ) «Про затвердження Санітарних правил в лісах України» від 27 липня 1995 р. №555. Кількість досліджуваних дерев на пробній площі становила 100 шт. оцінювання проводили за категоріями: I – без ознак ослаблення, II – ослаблені, III – дуже ослаблені, IV – відмираючі, V – свіжий сухостій, VI – старий сухостій.

Місце розташування закладених пробних площ фіксували за допомогою GPS-навігації, одержані показники в камеральних умовах були розміщені на карті за допомогою комп'ютерної програми *SASPlanet*.

Другий етап досліджень передбачав опрацювання одержаних даних в камеральних умовах. Аналіз результатів дослідження охоплював використання методик з визначення ходу росту деревостанів за авторами Кофман Г.Б., Цурик Є.І., Швиденко А.З та ін. [12, 46, 47]

Визначення біопродуктивності лісів за методиками вітчизняних авторів Лакида П.І., Ловинська, В.М., Мороз В.В., Мякушко В.К. [13, 14, 17, 18, 19-34, 36] та зарубіжних Онучин А.А., Борисов А.Н. [38]

Встановлення вуглецепоглиняльної здатності соснових лісів за методиками Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Matthews G. [49, 50], Букша І.Ф., Бутрим О.В., Пастернак В.П. [3]

Також аналіз киснетвірної здатності за методикою І. Я. Лієпи [16].

Одержані результати оброблялися за допомогою пакету аналізу *Microsoft Excel*.

## 2.2. Об'єкт досліджень

Для проведення наукових досліджень, було закладено в соснових лісах заповідної зони Яворівського національного природного парку 9 тимчасових пробних площ в різновікових насадженнях. На рисунку 2.1 зеленим кольором відмічена заповідна зона парку (рис. 2.1).

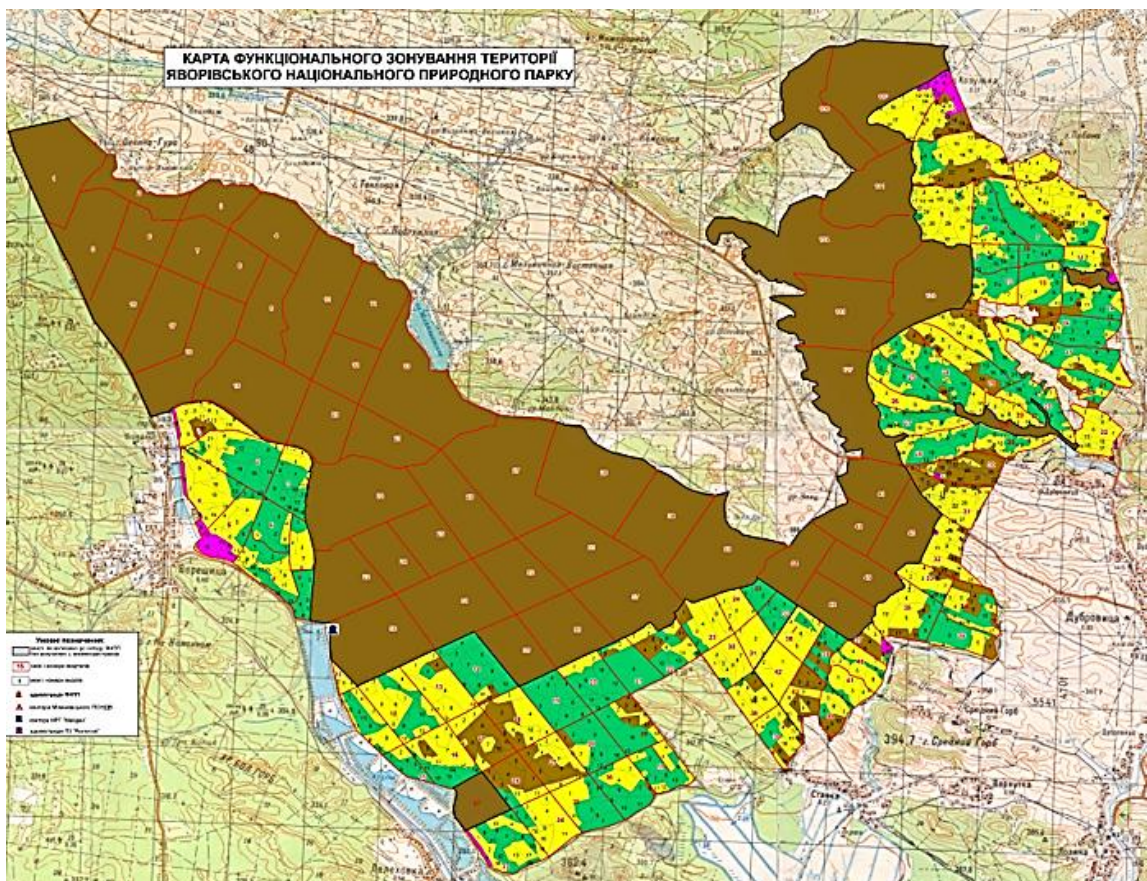
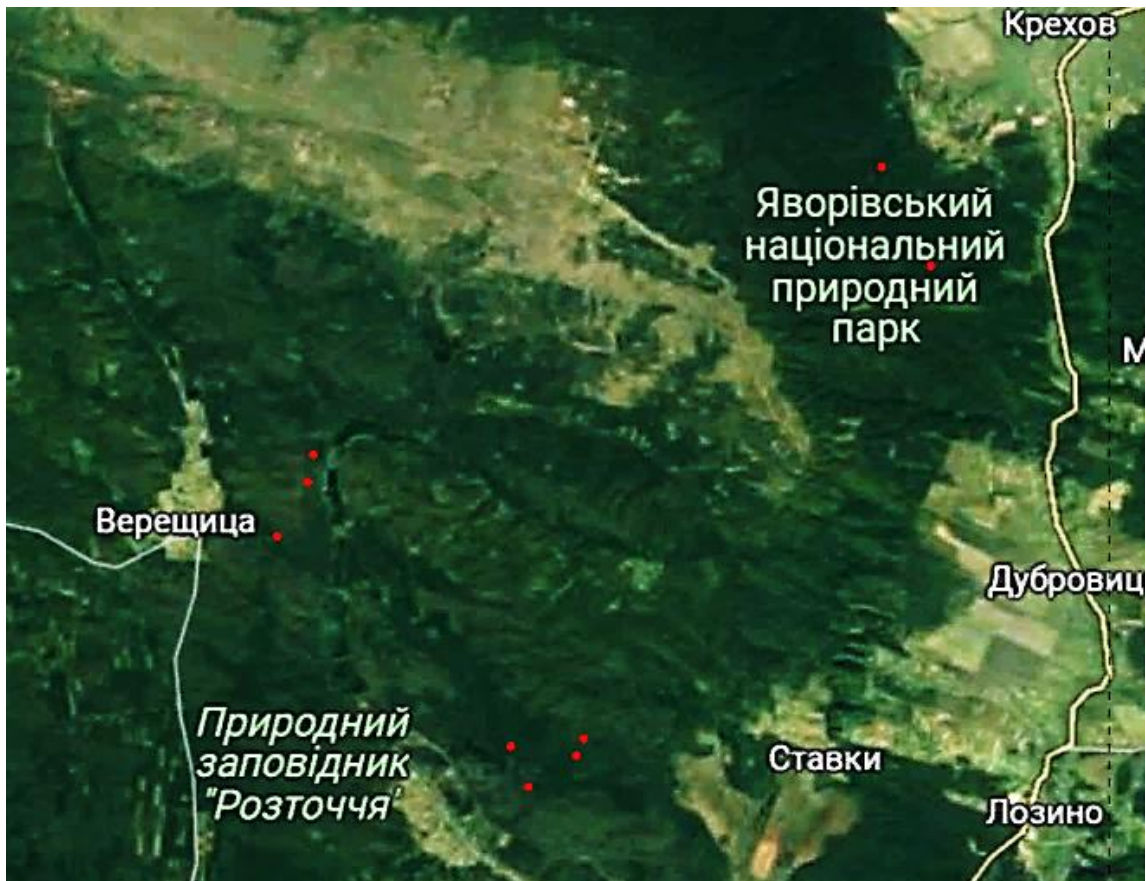


Рис. 2.1. Функціональне зонування Яворівського НПП

При закладанні пробних площ GPS-навігатором фіксували місце розташування ділянок. В камеральних умовах за допомогою програми *SASPlanet* місце розташування досліджуваних об'єктів нанесено на *Google* карту та відмічено дослідні ділянки червоними точками (рис. 2.2).



**Рис. 2.2. Розташування пробних площ у заповідній частині парку**

Пробні площі закладалися на ділянках заповідної частини парку з переважання сосни у насадженні. Сосна у складі насадження становила від 50 до 100%, інший деревний склад представлено дубом звичайним (*Quercus robur* L.), березою повислою (*Betula pendula* Roth.), буком лісовим (*Fagus sylvatica* L.), грабом звичайним (*Carpinus betulus* L.), ялиною європейською (*Picea abies* (L.) Karst), явором (*Acer pseudoplatanus* L.).

Відповідно до проведених польових досліджень, здійснено аналіз об'єкта дослідження. Одержані середні показники на пробних площах представлено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

## Лісівничо-таксаційна характеристика тимчасових пробних площ

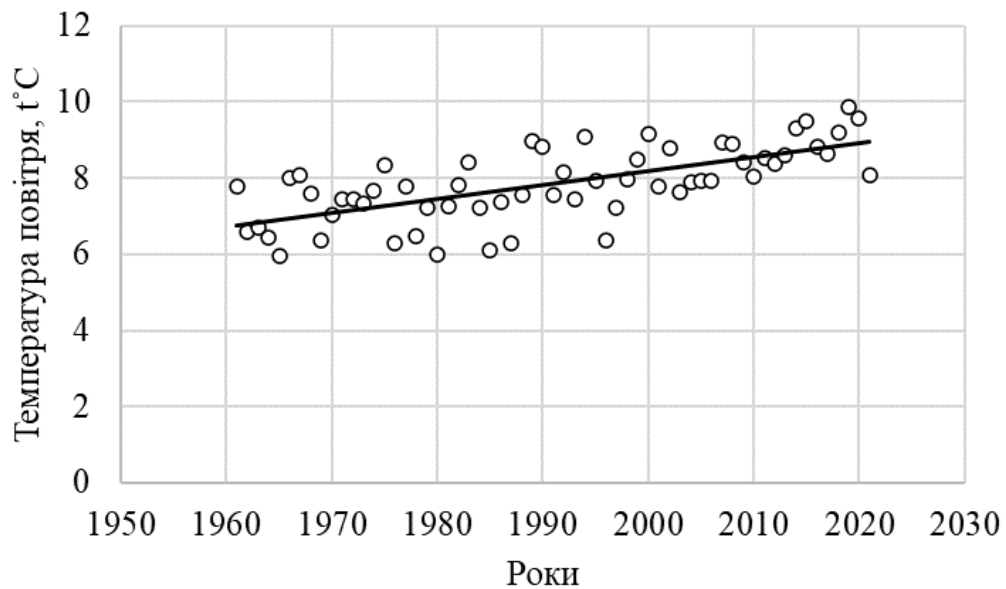
| № п/п | Місце<br>Розташуван<br>ня пробних<br>площ | Квартал | Виділ | Породний<br>склад<br>деревостану | Середній вік деревостану, років | Середня висота деревостану, м | Середній діаметр деревостану, см | Група віку | Клас бонітету | Відносна повнота | Запас деревини на 1 га, м <sup>3</sup> | Категорія санітарного стану |
|-------|-------------------------------------------|---------|-------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------|---------------|------------------|----------------------------------------|-----------------------------|
| 1.    | Янівське<br>лісництво                     | 26      | 9     | 5Сз5Бп+Яле                       | 37                              | 18                            | 20                               | 3          | 1А            | 0,8              | 200                                    | 3                           |
| 2.    | Янівське<br>лісництво                     | 8       | 14    | 6Сз2Гз1Бкл1<br>Дз+Бп+Яле         | 107                             | 31                            | 48                               | 6          | 1А            | 0,55             | 290                                    | 1                           |
| 3.    | Янівське<br>лісництво                     | 3       | 16    | 7Сз2Дз1Гз+Б<br>кл+Яле            | 112                             | 31                            | 48                               | 6          | 1             | 0,6              | 400                                    | 1                           |
| 4.    | Янівське<br>лісництво                     | 3       | 7     | 8Сз1Дз1Яле+<br>Гз+Бкл            | 102                             | 30                            | 40                               | 6          | 1             | 0,55             | 330                                    | 1                           |
| 5.    | Янівське<br>лісництво                     | 33      | 18    | 7СзДз+Гз+Бк<br>л+Яле+Бп          | 92                              | 31                            | 40                               | 4          | 1А            | 0,6              | 360                                    | 1                           |
| 6.    | Янівське<br>лісництво                     | 35      | 5     | 8Сз1Дз1Бкл+<br>Яв+Гз             | 107                             | 31                            | 44                               | 6          | 1А            | 0,7              | 400                                    | 1                           |
| 7.    | Янівське<br>лісництво                     | 35      | 3     | 6Сз2Бкл1Дз1<br>Гз+Бкл            | 102                             | 30                            | 44                               | 6          | 1             | 0,5              | 240                                    | 2                           |
| 8.    | Млинківське<br>лісництво                  | 3       | 4     | 7Сз3Бкл                          | 87                              | 26                            | 36                               | 5          | 1             | 0,8              | 400                                    | 2                           |
| 9.    | Млинківське<br>лісництво                  | 9       | 12    | 5Сз3Бкл1Бп1<br>Гз                | 72                              | 26                            | 36                               | 4          | 1А            | 0,7              | 315                                    | 1                           |

Діаметр дерев на закладених пробних площах становив від 8 до 77 см, висота дерев від 12 до 38 м, повнота насаджень складала від 0,4-0,8, а вік дерев від 44-129 років. Санітарний стан деревостану на пробних площах знаходився в задовільному стані. У заповідній частині парку переважно зростають високо бонітетні соснові ліси 1-1А.

### РОЗДІЛ III

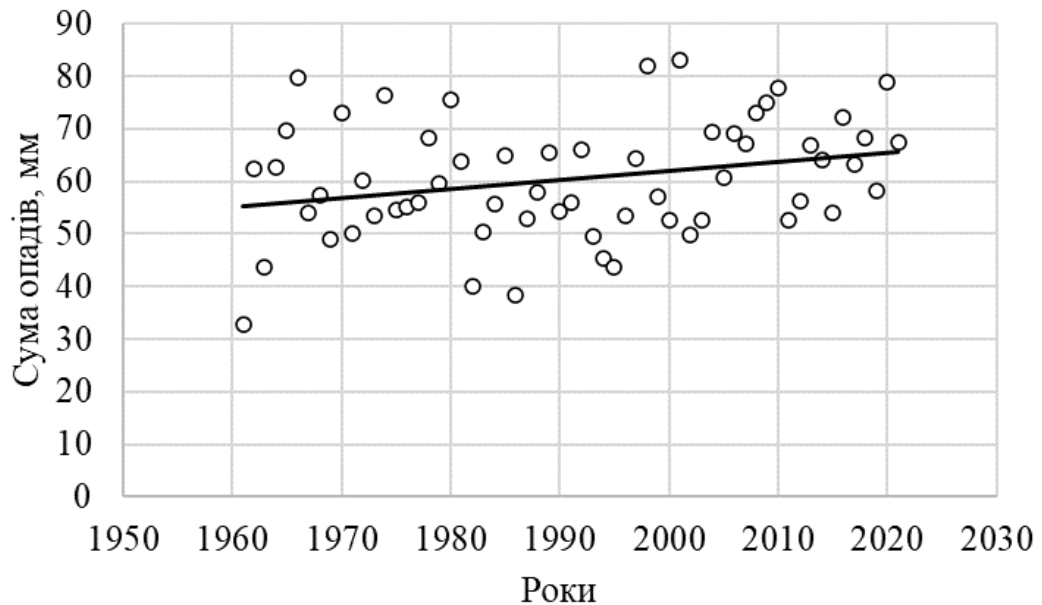
## ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ УКРАЇНСЬКОГО РОЗТОЧЧЯ

У регіоні дослідження останні роки спостерігаються певні кліматичні зміни. Відповідно до показників Українського гідрометеорологічного центру середньорічна температура повітря за останні шістдесят років зросла на  $2^{\circ}\text{C}$  (рис. 3.1).



**Рис. 3.1. Зміна середньорічної температури повітря  
в Українському Розточчі за період 1961-2021 рр.**

Також в Українському Розточчі спостерігаються зміни при спостереженні середньорічної суми опадів за період 1961-2022 рр. (рис. 3.2).



**Рис. 3.2. Зміна середньорічної суми опадів в Українському Розточчі за період 1961-2021 рр.**

Згідно з наведеними показниками на рис. 1.5 за шести десятирічний період середньорічна сума опадів зросла на 10 мм.

Такі кліматичні зміни науковці усього світу пов'язують з антропогенною діяльністю, а точніше з викидами парникових газів (двоокис вуглецю ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ), оксид азоту (I) ( $\text{N}_2\text{O}$ ), озон ( $\text{O}_3$ ), водяна пара) в атмосферне повітря [4, 7, 10].

Під час горіння викопного палива (вугілля, нафта, газ) у повітря вивільняється вуглець, який в процесі хімічних реакцій з'єднується з киснем у середовищі та утворює  $\text{CO}_2$ . За даними NOAA Climate (Національне управління океанічних і атмосферних досліджень) за останні роки концентрація діоксиду вуглецю зросла з 280 ppm до 410 ppm (часток на мільйон) [8, 10] (рис. 3.3).



**Рис. 3.3. Глобальні показники температури та концентрації CO<sub>2</sub>**

З метою покращення кліматичних змін у 2015 році на Міжнародних кліматичних переговорах ООН (*COP21*) була підписана Паризька угода. Через рік 55 країн світу схвалили її, а у 2022 році кількість країн які ратифікували Угоду становила 193 країни. Україна увійшла у двадцятку перших країн які затвердили Паризьку угоду на державному рівні.

Одним із заходів зниження викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу це є збільшення лісистості держав та зменшення викидів парникових газів.

Масивні лісові насадження, які й заповідні ліси слугують зеленим щитом, тому система моніторингу кліматостабілізуючої здатності є важливим завданням сучасності.

## РОЗДІЛ IV

### ПОГЛИНАННЯ ВУГЛЕЦЮ ТА ПРОДУКУВАННЯ КИСНЮ СОСНОВИМИ ДЕРЕВОСТАНАМИ

#### 4.1. Особливості росту та розвитку соснових насаджень

Для проведення статистичного аналізу в *Microsoft Excel* відібрано 245 модельних дерев. З метою визначення динаміки росту та розвитку соснових дерев заповідної частини Яворівського НПП. За біометричними показниками, вік, ріст і приріст деревини за діаметром (табл. 4.1) встановлено причинно наслідкові взаємозв'язки та побудовано кореляційну матрицю.

*Таблиця 4.1*

**Кореляційна матриця біометричних показників**

| Показники   | Вік, роки | Діаметр, см | Висота, м |
|-------------|-----------|-------------|-----------|
| Вік, роки   | 1,0       | —           | —         |
| Діаметр, см | 0,964     | 1,0         | —         |
| Висота, м   | 0,927     | 0,973       | 1,0       |

Виходячи з показників кореляційної матриці всі парні коефіцієнти мають між собою високу залежність що надає змогу побудувати рівняння залежності за трьома показниками – вік, діаметр, висота.

За допомогою пакету аналізу *Microsoft Excel* проводимо регресійний та дисперсний аналіз з метою одержання математичної залежності (табл. 4.2). При побудові рівняння вводимо наступні змінні: залежна змінна – вік дерева, незалежні змінні – діаметр та висота. В пошуку математичного рівняння найкращий результат (найвищий коефіцієнт детермінації) одержало лінійна залежність (рівняння 4.1).

Таблиця 4.2

**Показники регресійної статистики та дисперсного аналізу**

| <i>Регресійна статистика</i>  |       |
|-------------------------------|-------|
| Множинний $R$                 | 0,965 |
| Коефіцієнт детермінації $R^2$ | 0,931 |
| Нормований $R^2$              | 0,930 |
| Стандартна помилка            | 7,46  |
| Спостереження                 | 245   |

*Дисперсійний аналіз*

| <i>Показники</i> | <i>df<br/>(кількість<br/>ступенів<br/>волі)</i> | <i>SS (сума<br/>квадратів<br/>відхилень)</i> | <i>MS (оцінка<br/>дисперсії)</i> | <i>F</i> | <i>Значущість<br/>F</i> |
|------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|----------|-------------------------|
| Регресія         | 2                                               | 181509,6                                     | 90754,8                          | 1631,2   | $3,46 \times 10^{-141}$ |
| Залишок          | 242                                             | 13464,2                                      | 55,6                             |          |                         |
| Разом            | 244                                             | 194973,9                                     |                                  |          |                         |

| <i>Показники</i> | <i>Коефі-<br/>цієнти</i> | <i>Стандартна<br/>помилка</i> | <i>t –<br/>статистика</i> | <i>P-значення</i>       | <i>Нижнє<br/>95%</i> | <i>Верхнє<br/>95%</i> |
|------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| Y –<br>перетин   | 26,2                     | 5,66                          | 4,63                      | $5,93 \times 10^{-6}$   | 15,1                 | 37,4                  |
| Мінлива<br>$X_1$ | 2,32                     | 0,147                         | 17,8                      | $4,79 \times 10^{-397}$ | 2,02                 | 2,61                  |
| Мінлива<br>$X_2$ | -1,02                    | 0,388                         | -2,64                     | $8,86 \times 10^{-3}$   | -1,79                | -0,259                |

Враховуючі показники зазначені у табл. 4.2, рівняння матиме вигляд:

$$y = 26,2 + 2,31 \times x_1 - 1,02 \times x_2 \quad (4.1)$$

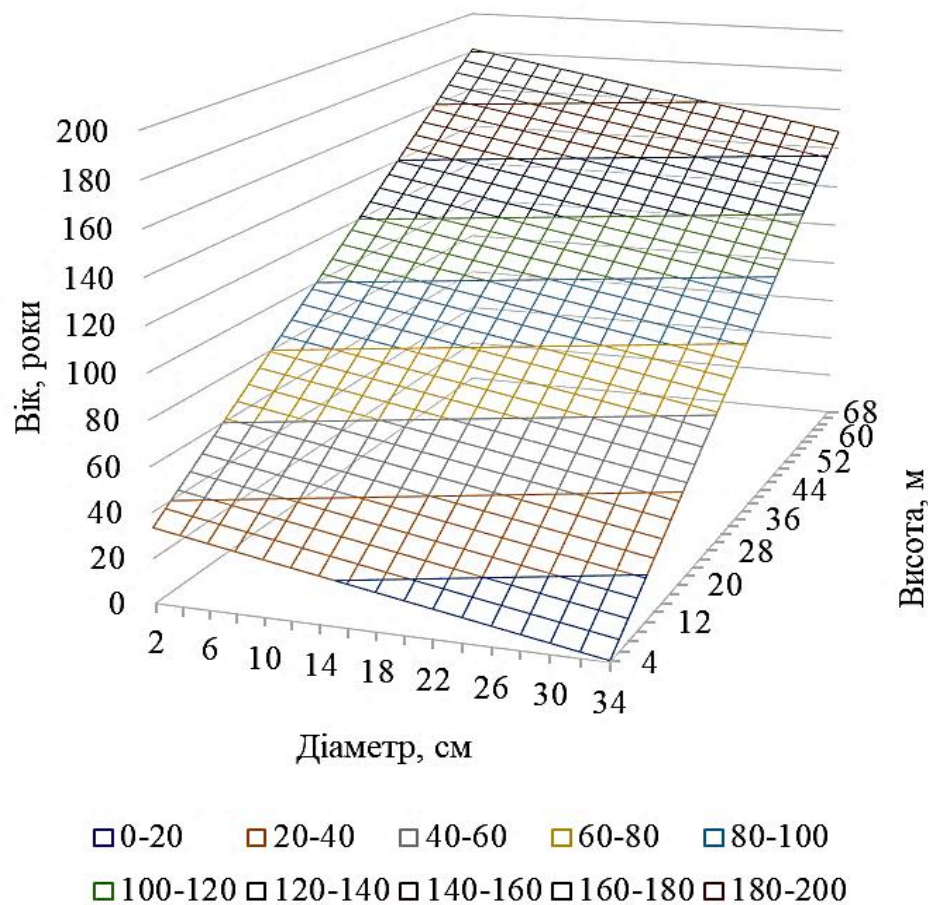
де  $y$  – вік дерева, роки;  $x_1$  – діаметр дерева, см;  $x_2$  – висота дерева, м.

Міра визначеності рівняння дорівнює 0,965, що говорить про достатню апроксимацію з вихідними показниками [11].

Множинний  $R$  є достатньо високим і дорівнює 0,931.

Згідно з дисперсним аналізом *значущість*  $F$  є менше ніж 0,05 отже рівняння є значущим на 5% рівні.

За одержаним рівнянням побудовано тривимірний поверхневий графік залежностей (рис. 4.1).



**Рис. 4.1. Графік залежностей за віком, діаметром і висотою**

За допомогою одержаного рівняння можна визначати та прогнозувати ріст та розвиток соснових деревних порід у заповідній частині Яворівського НПП.

#### 4.2. Біопродуктивність соснових деревостанів в заповідній частині парку

Оцінку біологічної продуктивності здійснювали за допомогою математичних залежностей запропонованих П.І. Лакидою (2013) для природних соснових деревостанів. Залежності містяться у довіднику: «Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси деревостанів головних лісотвірних порід України». Рівняння мають наступний вигляд [14]:

$$\llcorner Ph_{\text{ст}} = 2,288 \times d^{-0,162} \times h^{1,592} \times p^{1,018},$$

$$Ph_{\text{дер}} = 1,844 \times d^{-0,144} \times h^{1,624} \times p^{1,017},$$

$$Ph_{\text{к}} = Ph_{\text{ст}} - Ph_{\text{дер}},$$

де  $Ph_{\text{ст}}$  – фітомаса стовбура у корі, т/га;  $Ph_{\text{дер}}$  – фітомаса деревини стовбурів, т/га;  $Ph_{\text{к}}$  – фітомаса кори стовбурів, т/га;  $d$  – діаметр, см;  $h$  – висота, м;  $P$  – повнота насадження,

$$Ph_{\text{хв}} = 2,625 \times d^{-0,0013} \times h^{0,138} \times p^{0,722},$$

$$Ph_{\text{гіл}} = 3,056 \times d^{0,675} \times h^{-0,355} \times p^{0,434},$$

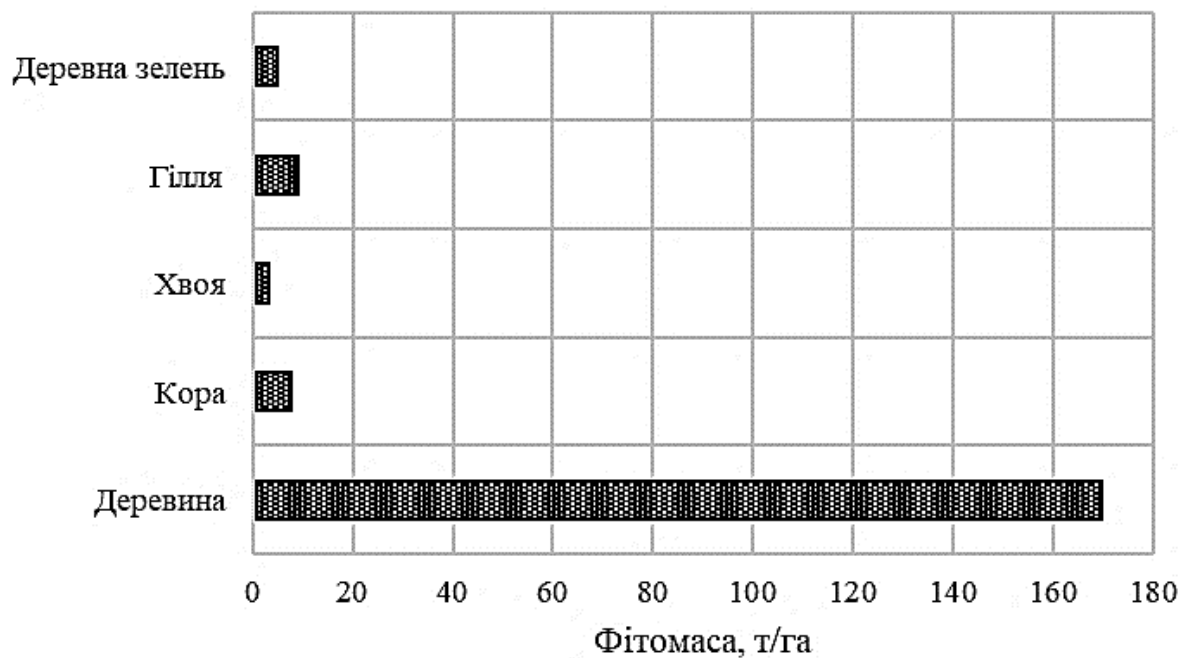
$$Ph_{\text{кр}} = Ph_{\text{хв}} + Ph_{\text{гіл}},$$

$$Ph_{\text{дз}} = 3,380 \times d^{0,080} \times h^{0,109} \times p^{0,697},$$

де  $Ph_{\text{хв}}$  – фітомаса хвої, т/га;  $Ph_{\text{гіл}}$  – фітомаса гілля, т/га;  $Ph_{\text{кр}}$  – фітомаса крони, т/га;  $Ph_{\text{дз}}$  – фітомаса деревної зелені, т/га;  $d$  – діаметр, см;  $h$  – висота, м;  $P$  – повнота насадження».

Середній вік соснового деревостану заповідної зони в Яворівському НПП становить 84 роки, середній діаметр – 37,4 см, висота – 27,9 м, відносна повнота деревостану – 0,7.

За формулами та середніми показниками встановлена фітомаса за окремими компонентами дерев на площі 1 га, результати аналізу зображено на діаграмі (рис. 4.2).



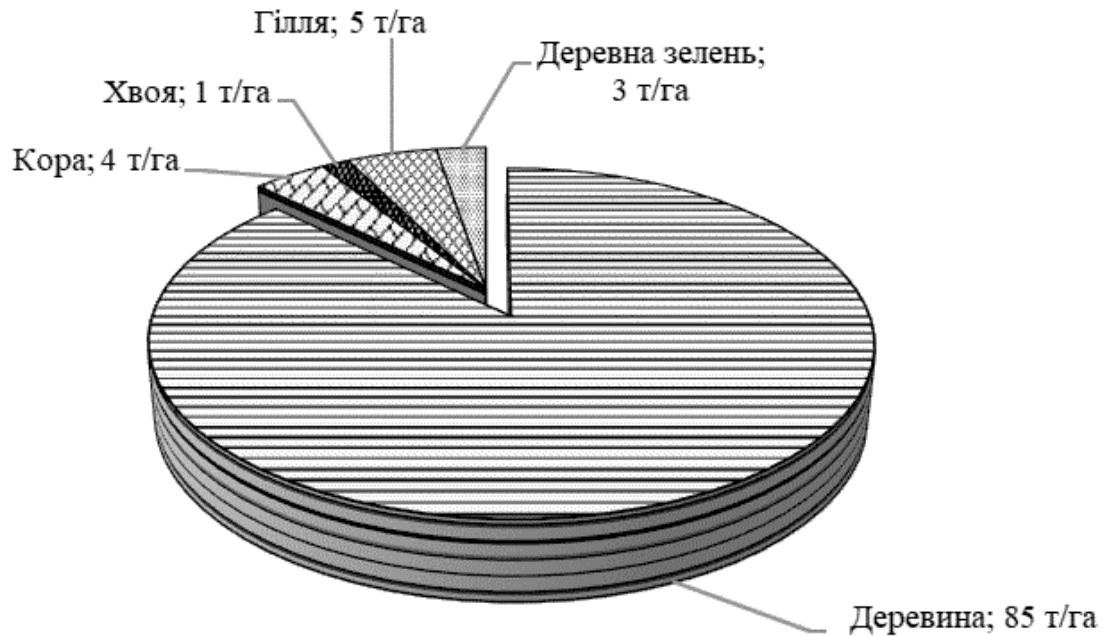
#### 4.2. По фракційна фітомаса соснових деревостанів заповідної зони

Загальна площа заповідної зони Яворівського НПП становить 1030,6 га з неї площа під сосновими деревостанами складає 199,9 га. Отже, загальна фітомаса соснових лісів заповідної частини парку становить 38,9 тис. т.

#### 3.3. Поглинання вуглецю та продукування кисню природними сосновими лісами

Згідно з міжнародною методикою Intergovernmental Panel on Climate Change, частка поглинутого вуглецю фітомасою становить 50%. За методикою G. Matthews у стовбуровій частині дерева та кори ця частка також становить 50%, а у хвої та листі 45% [49, 50].

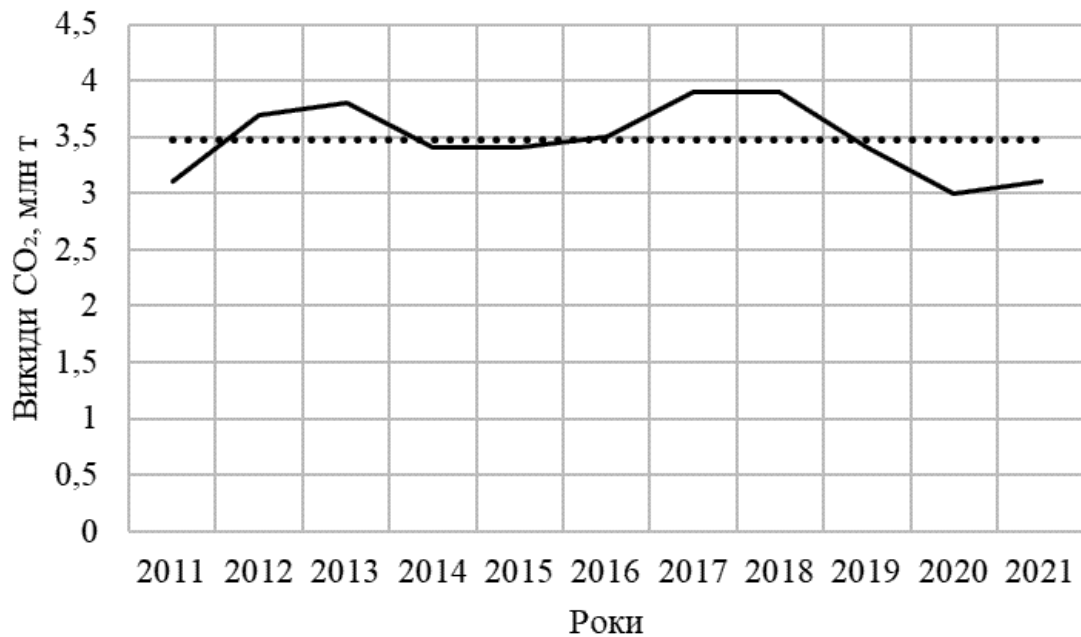
Враховуючі зазначені методики, визначена кількість поглинутого вуглецю за окремих фракціями дерева на площі 1 га (рис. 4.3).



**Рис. 4.3. Поглинання вуглецю окремими фракціями соснових деревостанів у заповідній частини Яворівського НПП**

Враховуючі площу соснових деревостанів заповідної зони Яворівського національного природного парку, кількість поглинутого вуглецю становить 18,5 тис. т.

Для того, щоб визначити кліматостабілізуюче значення соснових деревостанів заповідної частини парку, проведено аналіз викидів парникових газів у Львівській області. Згідно зі статистичними показниками Головного управління статистики у Львівській області середній статистичний показник викидів CO<sub>2</sub> за останні 10 років становить 3,5 млн т [5] (рис. 4.4).

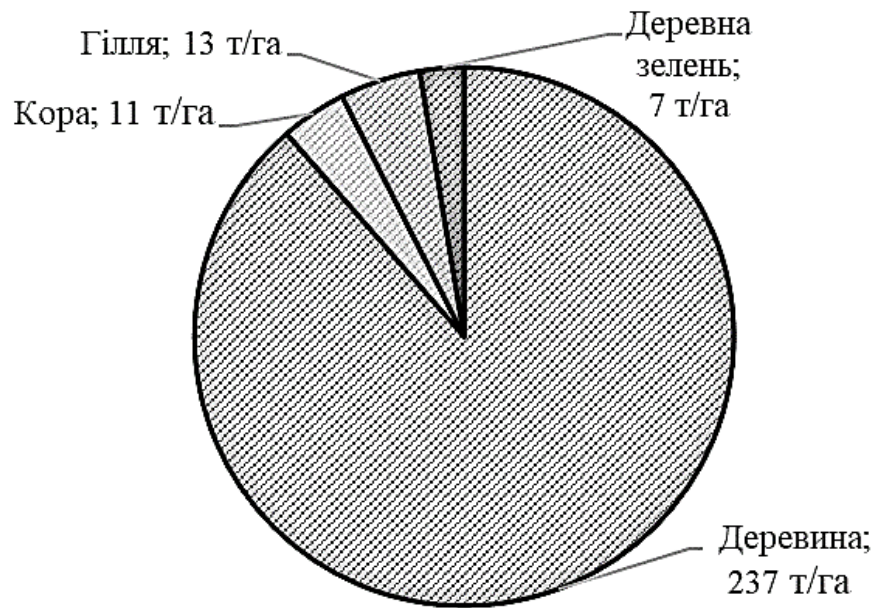


**Рис. 4.4. Щорічні викиди CO<sub>2</sub> стаціонарними джерелами забруднення**

Отже, згідно з проведеними розрахунками щорічно соснові деревостани зменшують викиди діоксиду вуглецю на 0,58%.

Окрім вуглецепоглиальної здатності соснові деревостани завдяки процесу фотосинтез продукують кисень чим покращують навколишнє середовище. Згідно з методикою І. Я. Лієпи киснетвірна здатність у процесі акумулювання однієї тонни абсолютно сухої речовини різних порід становить 1,4 т (хвоя та листя не враховуються) [16].

Згідно з проведеним аналізом киснепродуктивна здатність сосни у заповідній частині парку становить 268,1 т/га. Киснетвірна здатність окремих фракцій дерева зображена на секторній діаграмі на рис. 4.5.



**Рис. 4.5. Вуглецепоглинальна здатність соснових деревостанів  
на одиниці площі**

Враховуючі площу соснових деревостанів заповідної частини парку можна стверджувати, що щорічна киснетвірна здатність соснових деревостанів становить 53,6 тис. т.

## ВИСНОВКИ

Проаналізовано, що в Українському Розточчі за період 1961-2022 рр. середньорічна сума опадів зросла на 2°C, а середньорічна сума опадів збільшилася на 10 мм.

Визначена фітомаса соснового деревостану яка за окремими фракціями складає: для хвої – 3,2 т/га, деревної зелені – 5,1 т/га, кори – 7,6 т/га, гілля – 9,3 т/га, деревини – 169,6 т/га.

Встановлено, що частка поглинутого вуглецю фітомасою соснового деревостану заповідної частини Яворівського національного природного парку становить: для хвої – 1,4 т/га, деревної зелені – 2,5 т/га, кори – 3,8 т/га, гілля – 4,6 т/га, деревини – 84,8 т/га.

Визначено, що загальна кількість поглинутого вуглецю сосновими деревостанами заповідної зони становить 18,5 тис. т.

Проаналізовано, що за останні 10 років середня статистична кількість викидів CO<sub>2</sub> у регіоні дослідження складає 3,5 млн т.

Встановлено, що соснові деревостани заповідної зони щорічно зменшують викиди діоксиду вуглецю на 0,58%.

Визначено, що киснепродуктивна здатність соснових деревостанів у заповідній частині парку становить 53,6 тис. т, зокрема за окремими фракціями: деревна зелень – 7,1 т/га, кора – 10,6 т/га, гілля – 13,0 т/га, деревина – 237,4 т/га. Загальна киснепродуктивна здатність соснових деревостанів у заповідній частині парку становить 268,1 т/га.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білокінь І.П. Ріст і розвиток рослин. К. : Вища школа, 1975. 429.
2. Білявський Г. О., Фурдуй Р. С., Костіков І. Ю. Основи екології : підручник. Київ : Либідь, 2004. 408 с.
3. Букша І.Ф., Бутрим О.В., Пастернак В.П. Інвентаризація парникових газів у секторі землекористування та лісового господарства: [монографія]. Х.: ХНАУ, 2008. 232 с.
4. Глобальні зміни клімату: економіко-правові механізми імплементації Кіотського протоколу в Україні / за ред. В.Я. Шевчука. К.: Гаопринт, 2005. 147 с.
5. Головне управління статистики у Львівській області. URL: [www.lv.ukrstat.gov.ua](http://www.lv.ukrstat.gov.ua).
6. Голубець М.А. та ін. Екологічний потенціал наземних екосистем. Львів: Поллі, 2003. 180 с.
7. Грицик В., Канарський Ю., Бедрій Я. Екологія довкілля. Охорона природи : навчальний посібник. Київ : Кондор, 2009. 292 с.
8. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища : навчальний посібник. 5- те вид., випр. і доп. Київ : Т-во «Знання», КОО, 2007. 422 с.
9. Кефели В.И. Фотоморфогенез, фотосинтез и рост как основа продуктивности растений. Пушино, 1991. 134 с Тити
10. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К.: Видавництво РАЄВСЬКОГО, 2003. 343 с.
11. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.
12. Кофман Г.Б. Рост і форма деревьев. Новосибирск: Наука, 1986. С. 93–161.

13. Лакида П.І. Фітомаса лісів України: монографія. Тернопіль: Збруч, 2002. 256 с.
14. Лакида П. І. та ін. Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси деревостанів головних лісотвірних порід України. Корсунь-Шевченківський : ФОП Гаврищенко В.М., 2013. 457 с.
15. Лаптев О.О. Екологія рослин з основами біогеоценології. Київ: Укрнафтосоціоцентр, 2001. 144.
16. Лиєпа И. Я. Динамика древесных запасов: Прогнозирование и экология. Рига: Зинатне, 1980. 172 с.
17. 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.
18. 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.
19. Мороз В.В., Никитюк Ю.А. Вплив сонячної активності, вологозабезпечення та діоксиду вуглецю на загибель лісових насаджень. *Danish scientific journal*. 2020. №34. Т. 2. С.8-14.
20. Мороз В.В., Никитюк Ю.А. Вуглецепоглиналина здатність соснових лісових насаджень Волинського Полісся. *Наукові горизонти*. 2020. №01(86). С.61–70.
21. Мороз В.В., Никитюк Ю.А. Вуглецепоглиналина здатність соснових лісових насаджень Чернігівського Полісся. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. №1. С. 90–99.
22. Мороз В.В., Никитюк Ю.А. Вуглецепоглиналина здатність соснових лісових насаджень Житомирського Полісся. *Зрошуване землеробство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник*. Херсон. 2020. Вип. 73. С.43–50.

23. Мороз В.В., Никитюк Ю.А. Вуглецепоглиняльна здатність соснових лісових насаджень Волинського Полісся. *Наукові горизонти*. 2020. №01(86). С.61–70.
24. Мороз В.В., Никитюк Ю.А. Вуглецепоглиняльна здатність соснових лісових насаджень Чернігівського Полісся. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2020. №1. С. 90–99.
25. Мороз В.В., Никитюк Ю.А. Вуглецепоглиняльна здатність соснових лісових насаджень Житомирського Полісся. *Зрошуване землеробство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник*. Херсон. 2020. Вип. 73. С.43–50.
26. Мороз В.В., Никитюк Ю.А. Зниження вуглецепоглиняльної здатності деревостанів Житомирського Полісся через загибель соснових насаджень. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Меліорація і водне господарство»*. Херсон. 2020. №1. С.112-121.
27. Мороз В.В., Никитюк Ю.А. Зниження вуглецепоглиняльної здатності деревостанів Чернігівського Полісся через загибель соснових насаджень. *Journal of science. Lyon*. 2020. №6. Т. 1. С.3-10.
28. Мороз В.В., Никитюк Ю.А., Воробель М.І. Зниження вуглецепоглиняльної здатності деревостанів Волинського Полісся через загибель соснових лісів. *The scientific heritage*. 2020. №46. Вип. 2 (46). С.21-27.
29. Мороз В.В., Стасюк Н.М. Екологічне значення хвойних лісів у Передкарпатському лісгосподарському округу. *Annali d'Italia. Scientific Journal of Italy*. 2020. №14. Т. 1. С. 10-15.
30. Мороз В.В., Стасюк Н.М. Екологічне значення хвойних лісів у лісгосподарському округу Закарпатських рівнин і передгір'я. *Sciences of Europe*. 2020. №59. Т. 2. С. 24-30.

31. Мороз В.В., Стасюк Н.М. Особливості росту та розвитку *Pinus sylvestris* L. в Яворівському національному природному парку. *Збалансоване природокористування*. 2020. №1. С. 147-154.
32. Мороз В.В., Стасюк Н.М., Петрів С.М. Екологічне значення хвойних лісів у Гірськокарпатському лісогосподарському окрузі. *Journal of science. Lyon*. 2020. №14. Т. 1. С. 12-18.
33. Мороз В.В., Стасюк Н.М., Тимошенко Л.М. Особливості росту, розвитку та кліматостабілізувальне значення соснових насаджень Українських Карпат. *Агроекологічний журнал*. 2021. №3. С. 98-107.
34. Мороз В.В., Шумигай І.В. Зниження вуглецепоглиняльної здатності деревостанів Київського Полісся через загибель соснових лісів. *Агроекологічний журнал*. 2020 №1. С. 116-121.
35. Мусієнко М.М. Фізіологія рослин: підручник. К.: Либідь, 2005. 808 с.
36. Мякушко В.К. Первинна біологічна продуктивність соснових лісів Українського Полісся. *Укр. бот. журнал*. 1972. Т. 29. № 3. С. 328–339.
37. Никитюк Ю. Мороз В. Карчевський Р. Вплив гідро-едафічних умов зростання на екологічні функції соснових насаджень Житомирського Полісся. *Deutsche internationale Zeitschrift für zeitgenössische Wissenschaft*. 2021. №7. Т. 1. С. 6-10.
38. Онучин А.А., Борисов А.Н. Опыт таксации фитомассы сосновых древостоев. *Лесоведение*. 1984. № 6. С. 66–71.
39. Пастернак В.П., Букша І.Ф., Висоцький Г.М. Методичні підходи до моніторингу динаміки вуглецю в лісових екосистемах. *Науковий вісник. Львів*, 2004. Вип. 14.2. С. 177–181.
40. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання : СОУ 02.02-37-476:2006. [Чинний від 2007-05-01]. К. : Мінагрополітики України, 2006. 32 с. (Стандарт Організації України).
41. Проект організації території Яворівського національного

природного парку, охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів і об'єктів. Том 1. Інвентаризація природних комплексів і компонентів для розробки Проекту організації території Яворівського національного природного парку, охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів і об'єктів / С. Орищин, Я. Хомин, В. Брусак [та ін.]. Львів : ЛНУ ім. Ів. Франка, 2010. 115 с.

42. Проект організації території Яворівського національного природного парку, охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів і об'єктів. Том 3. Пояснювальна записка з розробки організації території, охорони, відтворення та рекреаційного використання природних комплексів і об'єктів Яворівського НПП Львівської області. / Гульчак В.П., Карпа М.А., Піпа Р.С., Крупій В.В. Львів, 2011. 129 с.

43. Сытник К.М., Мусатенко Л.И., Богданова Т.Л. Физиология листа. Киев : Наук. думка, 1978. 392 с.

44. Терек О.І., Пацула О.І. Ріст і розвиток рослин: навч. посібник. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2011 – 328 с.

45. Федоров А.К. Особенности зимующих растений. М.: Издательство АН СССР, 1959. 200 с.

46. Цурик Є.І. Таксація динаміки деревостанів : Навчальний посібник. Львів: НЛТУ України, 2008. 345 с.

47. Швиденко А.З., Строчинский А.А., Савич Ю.Н., Кашпор С.Н. Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии. К.: Урожай, 1987. 560 с.

48. Шульгин И.А. Растение и солнце. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 252 с.

49. IPCC Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2015. 151 p.

50. Matthews G. The Carbon Contents of Trees. Forestry Commission, Tech. Paper 4. Edinburgh, 1993. 21 p.
51. Moroz V., Nykytiuk Y. Current State of Pineries in Zhytomyr Polissia Under the Influence of Environmental Factors. *Scientific Horizons*. 2021. 24(8). P. 37–46.
52. Moroz V.V. et al. Carbon Absortion Ability of Pine Forest Plantations in the Ukrainian Polissya. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. №10(2). P. 249–255.