

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕКОЛОГІЇ КАРПАТ НАН УКРАЇНИ

І.С. ПИЖИК, І.М. ШПАКІВСЬКА, О.Г. МАРИСКЕВИЧ,
В.П. РОЖАК, В.М. ДИЧКЕВИЧ, Є.О. ПУКА

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ І ОЦІНКА
ЗАПАСІВ ОРГАНІЧНОГО КАРБОНУ
В ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ
РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ
«НАДСЯНСЬКИЙ»

*Монографія підготовлена в рамках проекту № 09/19-SK
«Оцінка вуглецевої ємності лісових екосистем
РЛП «Надсянський» як складової МРБ «Східні Карпати»
за фінансової підтримки Фонду збереження біорізноманіття Карпат
(Nadacia pre ochranu biodiversity Karpát, Slovensko)*

ЛЬВІВ-2022

УДК 574.4:630.17/18/23:502.752(477.82)

С36

Пижик І., Шпаківська І., Марискевич О., Рожак В., Дичкевич В., Пука Є. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ І ОЦІНКА ЗАПАСІВ ОРГАНІЧНОГО КАРБОНУ В ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ «НАДСЯНСЬКИЙ» ЯК СКЛАДОВОЇ ЧАСТИНИ МРБ «СХІДНІ КАРПАТИ» – Львів: Простір-М, 2022. – 112 с.

За ред. О.Г. Марискевич

У монографії оцінено запаси органічного Карбону в основних пулах лісових екосистем регіонального ландшафтного парку «Надсянський»: фітомаса, ґрунт, лісова підстилка і грубі деревні залишки. Оцінку проводили на базі Яблунського лісництва Державного підприємства Боринське лісове господарство. Для оцінки запасів органічного Карбону використовували статистичні дані і дані власних польових досліджень. Вперше для даних території оцінено внесок рубок у баланс органічного Карбону, а також оцінено запас органічного накопиченого на ділянках зрубів. Проведено оцінку просторової і часової динаміки органічного Карбону.

Для біологів, географів, екологів, фахівців з охорони природи і лісового господарства, а також викладачів і студентів вищих навчальних закладів.

Рецензенти:

Гамкало З.Г., д.б.н., проф., Інститут екології Карпат НАН України

Чорнобай Ю.М., д.б.н., проф., Державний природознавчий музей України

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту екології Карпат НАН України

УДК 574.4:630.17/18/23:502.752(477.82)

ISBN 978-966-02-9947-4

© Пижик І., Шпаківська І., Марискевич О. та ін., 2022

© Інститут екології Карпат НАН України, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Розділ 1. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПУЛІВ І ПОТОКІВ ОРГАНІЧНОГО КАРБОНУ НА ТЕРИТОРІЇ СТРИЙСЬКО-СЯНСЬКОЇ ВЕРХОВИНИ.....	6
1.1. Запаси органічного Карбону в основних блоках лісових екосистем Стрийсько-Сянської Верховини (Рожак В. П.).....	8
1.2. Пули Карбону в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (Рожак В. П.).....	19
1.3. Інтенсивність обмінних потоків Карбону (Рожак В. П.).....	22
1.4. Чиста екосистемна продукція та баланс Карбону (Рожак В. П.).....	34
Розділ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ	40
2.1. Природні умови на території РЛП «Надсянський» (Марискевич О. Г.).....	40
2.2. Характеристика дослідного полігону «ДП Яблунське лісництво» (Пижик І. С.).....	46
Розділ 3. МЕТОДИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ	50
3.1. Розрахунок запасу органічного Карбону і його часової динаміки у пулі «фітомаса» (Пижик І. С.).....	50
3.2. Оцінка запасів органічного Карбону у лісовій підстилці, ґрунті і грубих деревних залишках (Пижик І. С.).....	53
3.3. Визначення сумарних запасів і щільності органічного Карбону в фітомасі, грубих деревних залишках, лісовій підстилці і ґрунті та їх просторовий розподіл (Пижик І. С.).....	57
Розділ 4. ЗАПАСИ ОРГАНІЧНОГО КАРБОНУ У ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ РЛП «НАДСЯНСЬКИЙ»	59
4.1. Лісова підстилка та грубі деревні залишки (Пижик І. С.).....	59
4.2. Ґрунт (Пижик І. С., Пука Є. О.).....	66
4.3. Фітомаса та її часова динаміка (Пижик І. С., Шпаківська І. М.).....	74
Розділ 5. ВПЛИВ РУБОК НА ЗАПАСИ ОРГАНІЧНОГО КАРБОНУ В ФІТОМАСІ (Пижик І. С.).....	79
Розділ 6. ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ ЗАПАСІВ ОРГАНІЧНОГО КАРБОНУ В ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ.....	83
6.1. Оцінка щільності запасів органічного Карбону у ґрунті і мортмасі (Пижик І. С., Шпаківська І. М.).....	83
6.2. Просторовий розподіл і щільність запасів органічного Карбону у лісових екосистемах (Пижик І. С., Шпаківська І. М., Дичкевич В. М.)	87
ПІДСУМКИ.....	92
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	94
ДОДАТКИ	103

ВСТУП

Лісові екосистеми є найбільшими наземними резервуарами органічного карбону. Важливою їх екологічною функцією є депонування Карбону атмосфери й довготривале його секвестрування в стовбуровій деревині, мертвій деревині, підстилиці та гумусових сполуках ґрунту. У регіональному масштабі лісові екосистеми є одним із чинників зменшення кількості парникових газів у атмосфері. Ці процеси залежать від продуктивності лісових насаджень та їх лісівничих характеристик: породного складу, бонітету, зімкнутості, типу лісорослинних умов. Вони також пов'язані з географічними розташуванням і рельєфом території, які, в свою чергу, впливають на режим надходження сонячної енергії та її розподіл, режим зволоження території. Для пулу Карбону в ґрунті важливими є властивості ґрунтовірних порід, які впливають на основні фізичні і хімічні характеристики ґрунту та їх здатність до формування стійких до розкладу орґано-мінеральних комплексів. Усе це впливає на секвестраційну спроможність лісових екосистем окремого регіону до нагромадження органічного карбону та зумовлює його актуальні запаси, які можуть регулюватися за рахунок запровадження природоохоронного режиму зі значним обмеженням лісогосподарських заходів (*Бедернічек, Гамкала, 2014, Білоус, 2014, Шпаківська, Марискевич, 2009, Шпаківська, Рожак, 2013, Dudley, Vallauri E., Vallauri D., 2004*).

Дослідження лісових екосистем, як основних поглиначів вуглецю, є актуальним у зв'язку з наявністю антропогенного парникового ефекту та спричинених цим ефектом змін клімату. Практичне значення таких досліджень полягає у розробленні рекомендацій щодо оптимізації вікової структури та породного складу лісів для збільшення поглинання вуглекислого газу (*Стрямець, Бунь, Стрямець, Данилів, 2015, Честных О.В., Лыжин В.А., Кокшарова, 2007, Dudley et al., 2004*).

В Україні питання проблеми формування запасів органічного карбону у лісових екосистемах, його розподіл у різних пулах і особливості міграцій між різними компонентами лісових екосистем активно вивчається і описана у працях М.Голубця, Ю.Чорнобая, П.Лакиди, А.Білоуса, В.Пастернака, І.Шпаківської, О.Марискевич, В.Рожака, Т.Бедернічека, З.Гамкала, І.Букші, О.Токар та інших (*Бедернічек, Гамкала, 2014, Білоус, 2014, Голубец, Одынак, Чернобай и др. 1989, Букиша, Пастернак, 2005, Криницький, Третяк, 2003, Рожак, 2014, Dudley et al., 2004, Lal, Kimble, and Follet, 1997*).

З огляду на це, метою досліджень була оцінка актуальних запасів органічного Карбону в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати), а саме у фітомасі, ґрунті, лісовій підстилиці і грубих деревних залишках на території регіонального ландшафтного парку «Надсянський» (надалі РЛП «Надсянський»), як результату едафо-кліматичних особливостей території, наслідків попередньої лісогосподарської діяльності та запровадження природоохоронного режиму на цій території у 1997 р. Отримані дані будуть використані для наповнення бази даних просторового розподілу органічного карбону на території лісо-

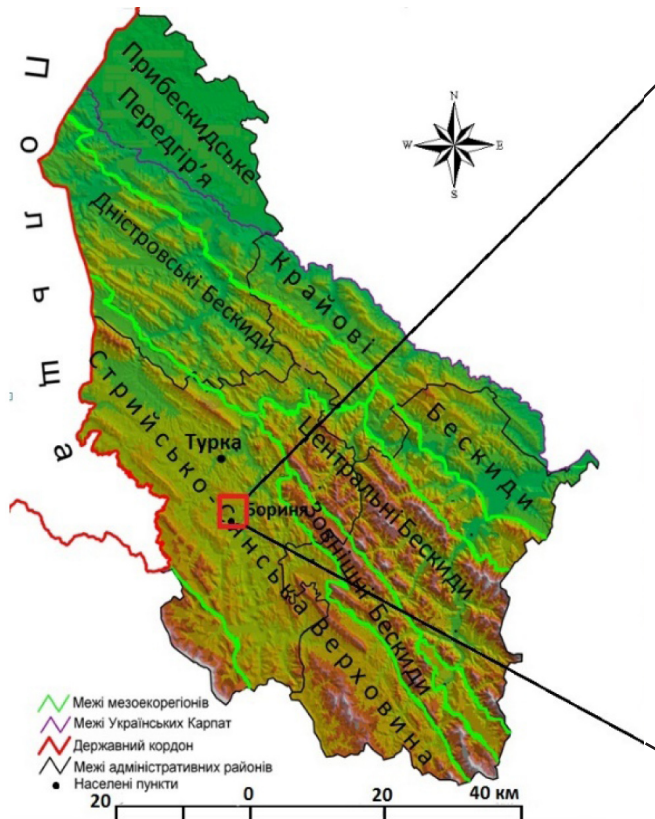
вих екосистем Стрийсько-Сянської Верховини, а також опрацювання лісівничих заходів, спрямованих на підвищення секвестрування Карбону цією природоохоронною територією.

Монографія підготовлена в рамках виконання гранту 09/19-SK «Оцінка вуглецевої ємності лісових екосистем РЛП «Надсянський» як складової МРБ «Східні Карпати» Фонду Збереження Біорізноманіття Карпат (Nadacia pre ochranu biodiversity Karpát, Slovensko).

Розділ 1. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПУЛІВ І ПОТОКІВ КАРБОНУ НА ТЕРИТОРІЇ СТРИЙСЬКО-СЯНСЬКОЇ ВЕРХОВИНИ

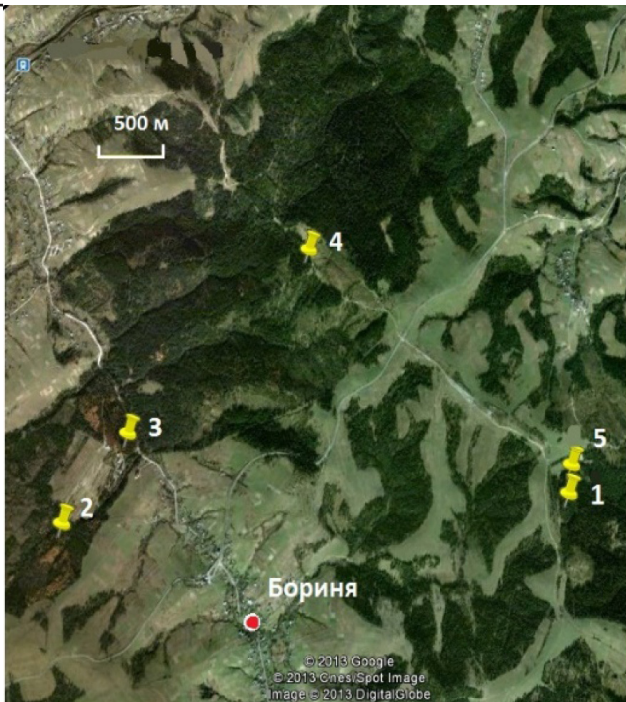
Резервуари Карбону, які в найбільшій мірі істотно впливають на природні потоки CO_2 і концентрацію його в атмосфері, зосереджені в надземній рослинній фітомасі і ґрунтовій органічній речовині, час перебування в них становить відповідно декілька сотень та декілька тисяч років (Кудеяров, 2007). Біосферна роль лісових екосистем полягає у стабілізації рівня атмосферного CO_2 для розуміння її ефективності функціонування в вуглецевому балансі необхідним є кількісна та якісна оцінка запасів Карбону, що акумулюється у фітомасі, фітодетриті, та органічній речовині ґрунту.

Особливості формування пулів та потоків Карбону були досліджені на репрезентативних лісових ділянках Стрийсько-Сянської Верховини. За геоботанічним районуванням Стрийсько-Сянська Верховина це район ялиново-букових і ялицево-ялиново-букових лісів (Голубець, 1965). В результаті архайчної, екс-



тенсивної лісоексплуатації основна частина корінних лісових угруповань були змінені на похідні. Зміни відбулися не лише у видовому, а й у віковому складі лісових угруповань (*Концептуальні засади ...*, 2007). Лісовий покрив представлений чистими і мішаними ялиновими та ялицевими лісами. Підлісок і трав'яно-чагарниковий ярус у таких угрупованнях розвинені слабо, лише поодинокі росте *Corylus avellana* (F), *Sambucus racemosa*, *Paris quadrifolia* (L), *Lonicera xyiosteum*. Найтипівіші представники трав'яного покриву – *Oxalis acetosella* (L), *Galium odoratum* (L), *Nephrolepis Cordifolia* (L.), *Galeobdolon luteum* Huds, *Vaccinium myrtillus* (L), *Dentaria glandulosa* (Waldst. & Kit), *Anémone nemorosa*, *Festuca sylvatica* (Poll.) Vill, *Luzula sylvatica*, *Rubus* (L).

Досліджувані лісові екосистеми були локалізовані на території ДП «Боринське ЛГ» Львівського ОУЛМГ і розташовані в межах висот 650-710 м н.р.м. Тип лісорослинних умов - вологі мезотрофні букові яличини. Вибір пробних площ зумовлений їх типовістю для сучасного лісового покриву Стрийсько-Сянської Верховини. Досліджувані екосистеми утворюють ряд від умовно корінних угруповань (площа 5), через вторинні монодомінантні ялинники на місці вирубаних корінних буково - ялицевих лісів (площі 2, 3, 4), до ялинників на землях, які раніше використовувались як рілля (площа 1).



Розташування дослідних ділянок на території Стрийсько-Сянської Верховини: 1 – ялицево-буковий ялинник мертвопокровний, 2 – буковий ялинник папоротево-ожиновий; 3 – буково-дубовий ялинник зеленчуково-ожиновий; 4 – ялицевий-ялинник ожинновий; 5 – буково-ялиновий яличник ожиново-папоротевий

Коротка характеристика та локалізація дослідних ділянок

Назва лісового угруповання та номер дослідної ділянки	Формула деревостану, бонітет, повнога	Вік, роки	Експозиція, ухил схилу, висота н.р.м.	Координати
1 Ялицево-буковий ялиник мертвопокровний	Ял4Бк4Яц2, Іа; 0,63	30	Сх, 3-5°, 775 м	49°05'40,13" 23°01'11,53"
2 Буковий ялиник папоротево-ожиновий	Ял9Бк1, Іа; 0,6	45	Пн-сх., 2-4° 687 м	49°05'19,36" 22°58'17,61"
3 Буково-дубовий ялиник зеленчуково-ожиновий	Ял6ДЗБк1, Іа; 0,82	50	Пн-сх, 3-5°, 658 м	49°05'40,52" 22°58'34, 92"
4 Ялицевий-ялиник ожинний	Ял6Яц4, Іа; 0,47	70	Вирівняна 0°, 730 м	49°06'26,57" 22°59' 29,87"
5 Буково-ялиновий яличник ожиново-папоротевий	Яц8Ял1Бк1, Іа; 0,55	110	Сх, 8-10°, 769 м	49°05'42,26" 23° 01'16,41"

* Назви угруповань подано за класифікацією К.А. Малиновського та М.А. Голубця (1969)

1.1. Запаси органічного Карбону в основних блоках лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини

Вміст Карбону в компонентах блоків «фітомаса і ґрунт».

При розрахунках запасів С в фітомасі здерев'янілих частин рослин використовували коефіцієнт 0,5. Для листя, хвої, мохового, трав'яно-чагарничкового ярусів та підстилки 0,45. Керуючись експериментальними даними Н.Н Кошуриркової (Кошуриркова, 2006), вміст Карбону для кореневого детриту був прийнятий на рівні 41% від загальної фітомаси. У роботах більшості дослідників зауважується, що вміст Карбону на різних стадіях розкладу деревного детриту слабо відрізняється і відповідає інтервалу 47 – 52% (Krankina, 1999; Laiho, 1999 Lambert, 1980). Концентрацію С в цьому компоненті фітодетриту, було прийнято на рівні 50% від загальної маси.

Блок «фітомаса»

В результаті перерахунків запасів фітомаси з використанням відповідних коефіцієнтів отримали запас Карбону в фітомасі (табл. 1.1)

Аналіз отриманих даних показав, що в межах території з однаковими едафо – кліматичними умовами запаси Карбону фітомаси, акумульованої рослинними угрупованнями, можуть істотно варіювати.

Пул Карбону в фітомасі досліджуваних лісових екосистем змінюється з віком з 95,84 до 194,37 т·С·га⁻¹. Основна частина фітомаси формується за рахунок деревного ярусу, на частку якого припадає 97,6 -99,1 %. Максимальна кількість С, депонованого в фітомасі екосистем, виявлена в умовно корінному буково-ялиновому яличнику – 194,37 т·С·га⁻¹. Загалом в досліджуваних екосистемах із збільшенням віку деревного ярусу спостерігається збільшення частки С акумульованого в стовбурах деревостанів від 59,5 до 73,9 %. Така закономірність є характерною для деревного ярусу, що підтверджується даними отриманими для букових деревостанів, де з 33 до 100 років його частка збільшується з 67,1 до 72,1 % (*Биогеоцено-тический покров Бескид ...*, 1983) і для ялинових деревостанів віком від 35 до 100 років частка стовбуру від загальних запасів деревного ярусу збільшується з 47,4 до 64,6 % (*Голубець*, 1975).

Запас С в підроті змінюється в межах 0,47 – 2,30 т·С·га⁻¹, частка його запасів від загального С фітомаси є незначною – 0,4 – 1,7 %, його частка і різниця запасів основним чином детермінована деревним ярусом, який обмежує і видозмінює потік сонячної радіації, атмосферних опадів і мінеральних речовин. Найбільші запаси Карбону підросту виявлені в 70–ти річному ялицевому ялиннику і 110-ти річному ялиновому яличнику відповідно 2,30; 2,03 т·С·га⁻¹, що значною мірою обумовлено зімкнутістю деревного ярусу.

Кількість Карбону, накопиченого в надґрунтовому покриві (трав'яно-чагарничковий ярус - моховий ярус), змінюється від 0,02 до 1,01 т·С·га⁻¹, його найбільші запаси як і запаси С в підроті, виявлені під 70-ти і 110-ти річними деревостанами: відповідно 0,01 -0,95 т·С·га⁻¹.

В досліджуваних екосистемах запас Карбону надґрунтової і підземної фітомаси з віком збільшується відповідно 2,3 і 1,1 рази, така закономірність є характерною властивістю мішаних лісів, оскільки збігається із результатами інших дослідників (*Ovington*, 1957).

Отже, акумулювання Карбону в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини змінюється з віком з 95,84 до 194,37 т·С·га⁻¹. Основна маса пулу С формується за рахунок деревного ярусу, на частку якого припадає 97,6 -99,1 %. Фракційний склад деревного ярусу в основному детермінований його віком.

Запаси Карбону фітомаси нижніх ярусів характеризуються значною варіабельністю, оскільки залежать від зімкнутості деревного ярусу та наявності «вікон» у деревостані. Вуглець підросту становить 0,47 - 2,3 т·С·га⁻¹, трав'яно-чагарничкового ярусу – 0 - 0,97 т·С·га⁻¹, у той час, як мохового ярусу 0,02 - 0,14 т·С·га⁻¹.

Блок «ґрунт»

Органічна речовина ґрунтового блоку лісових екосистем багатоконпонентна за походженням, морфологією, біохімічним та хімічним складом, що обумовлює

Таблиця 1.1

Запаси Карбону деревного і надґрунтового ярусів в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, т·С·га⁻¹

Фракція фітомаси	Ялицево- буковий ялинник	Буковий ялинник	Буково- дубовий ялинник	Ялицевий- ялинник	Буково- ялиновий яличник
	Вік (роки)				
	30	45	50	70	110
деревостан	94,94	104,54	154,43	133,73	191,39
надземна частина	71,42	80,64	123,63	109,42	165,27
стовбур	56,47	66,18	102,43	92,40	141,49
гілки	10,24	9,34	15,15	9,72	17,05
хвоя (листя)	4,71	5,12	6,05	7,30	6,73
підземна частина	23,52	23,90	30,80	24,31	26,12
підрріст	0,88	0,47	0,57	2,30	2,03
надземна частина	0,61	0,32	0,39	1,56	1,35
стовбур	0,35	0,20	0,24	1,02	0,85
гілки	0,19	0,10	0,12	0,34	0,32
хвоя (листя)	0,07	0,03	0,04	0,20	0,18
підземна частина	0,27	0,15	0,18	0,75	0,68
Моховий ярус	0,02	0,14	0,04	0,04	0,11
Трав'яно-чагар- ничковий ярус	—	0,66	0,84	0,97	0,84
надґрунтова частина	—	0,39	0,48	0,70	0,59
підземна частина	—	0,28	0,36	0,27	0,25
ВСЯ ФІТОМАСА	95,84	105,81	155,87	137,04	194,37
НАДҐРУНТОВА ЧАСТИНА	72,05	81,49	124,53	111,71	167,33
ПІДЗЕМНА ЧАСТИНА	23,79	24,32	31,34	25,33	27,05

I – 30-ти річний ялицево-буковий ялинник мертвопокровний; II – 45-ти річний буковий ялинник папоротево-ожиновий; III – 50-ти річний буково-дубовий ялинник зеленчуково-ожиновий; IV – 70-ти річний ялицевий-ялинник ожиновий; V – 110-ти річний буково-ялиновий яличник ожиново-папоротевий.

різну стійкість її компонентів до біодеградації. У зв'язку з цим існує доцільність поділу органічної речовини за цією ознакою на дві фракції:

a - легкомінералізуючої органічної речовини (ЛМОР), об'єднує весь фітодетрит на поверхні (грубі деревні залишки (ГДЗ), лісова підстилка) і в товщі ґрунту (мертві корені, інший кореневий детрит). До неї зараховують мікробну біомасу (МБ), трансформовану частину фітодетриту і рухомі гумусові речовини легкорозчинні у воді. Кожен із компонентів цієї фракції характеризується своєю швидкістю розкладу;

б - фракція органічної речовини, це це стабільний Карбон, який включає ґрунтовий гумус як специфічну органічну речовину ґрунту, стійку до біорозкладу. Час її колообігу становить сотні тисяч років і не порівняльний з параметрами, що характеризують участь в колообігу Карбону продуктів життєдіяльності деревостану з моменту його формування до розкладу.

Аналіз структури запасів Карбону у фітодетриті є однією із необхідних умов для коректної оцінки інтенсивності гетеротрофного дихання. В результаті перерахунку запасів фітодетриту з використанням коефіцієнтів для кореневого детриту 0,41; підстилки 0,45 і дебрису 0,5 отримуємо запас Карбону у фітодетриті (табл. 2.2).

Пул Карбону фітодетриту у досліджуваних екосистемах змінюється в межах – 14,76 - 34,7 т·С·га⁻¹. Структура його розподілу за компонентами є неоднорідною. В усіх досліджуваних екосистемах, окрім 50-ти річного буково-дубового ялинника, найбільші запаси зосереджені в дебрисі – 42 - 68% від загального С фітодетриту, його кількість детермінована всиханням та низькою стійкістю до вітровалів ялини. Запас С підстилки змінюється в межах 4,67 – 9,29 т·С·га⁻¹. Величина запасів

Таблиця 1.2

Структура запасів Карбону у фітодетриті в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (у чисельнику т·С·га⁻¹, у знаменнику %)

Номер ділянки	Назва дослідної ділянки	дебрис (ГДЗ)	підстилка	кореневий детрит	разом
I	30-ти річний ялицево-буковий ялинник	<u>7,85</u> 50	<u>6,71</u> 42	<u>1,28</u> 8	<u>15,83</u> 100
II	45-ти річний буковий ялинник	<u>23,50</u> 68	<u>8,49</u> 24	<u>2,78</u> 8	<u>34,76</u> 100
III	50-ти річний буково-дубовий ялинник	<u>3,83</u> 26	<u>9,16</u> 62	<u>1,77</u> 12	<u>14,76</u> 100
IV	70-ти річний ялицевий ялинник	<u>10,41</u> 42	<u>9,26</u> 37	<u>5,30</u> 21	<u>24,97</u> 100
V	110-ти річний буково-ялиновий яличник	<u>13,02</u> 62	<u>4,67</u> 22	<u>3,23</u> 15	<u>20,91</u> 100

зумовлена як інтенсивністю надходження опаду (табл. 1.2) так і зімкнутістю деревного ярусу, що визначає інтенсивність процесів мінералізації підстилки через прогрівання її поверхні. Частка С кореневого детриту є найменшою – 8 -21% від загального С фітодетриту та детермінована фракцією «інший» кореневий детрит, що формується, в основному, завдяки відмиранню кореневої системи підросту і трав'яно-чагарничкового ярусу.

Таким чином, вуглецево-акумуляційна роль фітодетриту в досліджуваних екосистемах має наступний вигляд: дебрис > підстилка > кореневий детрит, а для 50-ти річного буково-дубового ялиника: підстилка > дебрис > кореневий детрит.

У процесах розкладу рослинного матеріалу в результаті реакції гідролітичного розщеплення та реакції окислення-відновлення складних молекул білків, вуглеводів, ліпідів, лігніну та інших сполук у його складі, формується пул рухомої органічної речовини (С_{рор}). У його складі, разом з продуктами розкладу рослинних решток, наявні сполуки як специфічної природи, так і свіжоутворені гумусові речовини, присутні також гумусові речовини ґрунту, слабозв'язані з його мінеральною частиною (Титлянова, 1999).

Для оцінки запасу Карбону рухомої органічної речовини (С_{рор}) в ґрунті і фітодетриті використовують його екстрагування холодною (С_{ехв} (18 - 20°C) та гарячою (С_{егв} (70-72°C) водою (Schulz, 1990; Sparling, 1998).

Вміст водорозчинного органічного Карбону є важливим і швидким способом оцінки пулу рухомої органічної речовини ґрунту. В той же час С_{ехв} є однією із найактивніших і наймобільніших фракцій рухомої органічної речовини (Boyer, 1996).

Зміна концентрації С_{рор}, його фракційно-групового складу в залежності від рівня біодеградації рослинних залишків характеризує специфіку і напрямок процесів трансформації (Ушакова, 2000).

У підстилках досліджуваних екосистем різниця середніх значень концентрацій водорозчинного Карбону екстрагованого холодною водою (С_{ехв}) знаходиться у відносно близьких межах, однак в різних її компонентах вона може відрізнятися в 3 рази та не перевищувати 2% від загального вмісту С (табл.1.3). В усіх досліджуваних екосистемах, окрім 70-ти річного ялицевого ялиника, найменші концентрації виявлені у фракції гілок (0,2-0,48%) та розкладених рештках (0,24-0,48%), які представляють Но горизонт підстилки (горизонт гуміфікації). У хвої концентрація С_{ехв} в залежності від екосистеми змінюється від 0,38 до 0,49 %. Деяко більший вміст виявлений у фракції насіння – 0,19-0,25%. Найбільша концентрація С_{ехв} виявлена для листя 0,63-1,90%.

Середні показники екстрагованих рухомих форм органічного Карбону гарячою водою С_{егв} перевищують показники С_{ехв} для листя в 4,7 рази, насіння і розкладених решток в 7,3; 7,4 відповідно, для хвої в 8,1 найбільша різниця виявлена у фракції гілки (9,7 рази). Встановлено тісний кореляційний зв'язок між С_{егв} і С_{ехв}: r = 8.3.

Різниця концентрацій С_{рор} у фракціях підстилки обумовлена як хімізмом її компонентів, так і ступенем трансформації процесами біодеструкції. Так, наймен-

Таблиця 1.3

Середній вміст водорозчинного Карбону в компонентах підстилки в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, С % (n=5)

Фракція підстилки		№ ділянки				
		I	II	III	IV	V
Гілки	$C_{\text{ехв}}$	0,35 ± 0,04	0,36 ± 0,04	0,48 ± 0,03	0,49 ± 0,05	0,20 ± 0,02
	$C_{\text{егв}}$	3,61 ± 0,34	3,81 ± 0,31	3,73 ± 0,37	4,49 ± 0,48	2,55 ± 0,22
Хвоя	$C_{\text{ехв}}$	0,45 ± 0,03	0,47 ± 0,03	0,49 ± 0,02	0,47 ± 0,04	0,38 ± 0,02
	$C_{\text{егв}}$	3,28 ± 0,31	3,85 ± 0,28	3,75 ± 0,39	3,78 ± 0,16	3,75 ± 0,15
Листя	$C_{\text{ехв}}$	0,90 ± 0,09	1,9 ± 0,21	1,90 ± 0,18	н/в	0,63 ± 0,09
	$C_{\text{егв}}$	4,42 ± 0,32	7,27 ± 0,35	6,82 ± 0,48	н/в	4,11 ± 0,31
Насіння	$C_{\text{ехв}}$	0,56 ± 0,04	0,54 ± 0,02	0,28 ± 0,02	0,50 ± 0,03	0,44 ± 0,04
	$C_{\text{егв}}$	3,28 ± 0,25	3,65 ± 0,21	3,04 ± 0,25	2,82 ± 0,31	4,08 ± 0,33
Розкладені рештки	$C_{\text{ехв}}$	0,31 ± 0,04	0,46 ± 0,04	0,24 ± 0,03	0,48 ± 0,03	0,29 ± 0,02
	$C_{\text{егв}}$	2,28 ± 0,11	2,85 ± 0,21	1,85 ± 0,18	4,01 ± 0,32	2,25 ± 0,18
Усереднені показники	$C_{\text{ехв}}$	0,51	0,75	0,68	0,48	0,39
	$C_{\text{егв}}$	3,37	4,29	3,84	3,78	3,35

назви дослідних ділянок подані в табл.1.2

ші усереднені показники $C_{\text{ехв}}$ і $C_{\text{егв}}$ виявлені у екосистемі 110-ти річного буково-ялинового яличника відповідно 0,39 і 3,35%, найбільші у 45-ти річного буковий ялинника - $C_{\text{ехв}}$ 0,75; $C_{\text{егв}}$ 4,29 %.

Фракція коріння, яка об'єднує коріння пнів і сухою характеризується порівняно незначними показниками вмісту рухомих форм Карбону відповідно 0,29 і 2,72% для $C_{\text{ехв}}$ і $C_{\text{егв}}$ (рис. 1.1). У фракції «інший» кореневий детрит, на яку припадає більша частина запасу кореневого детриту в усіх досліджуваних екосистемах сконцентровано 0,4 % $C_{\text{ехв}}$ і 3,16 % $C_{\text{егв}}$. Більша концентрація $C_{\text{пор}}$ в цьому компоненті ймовірно спричинена його компонентним складом та ступенем його розкладу.

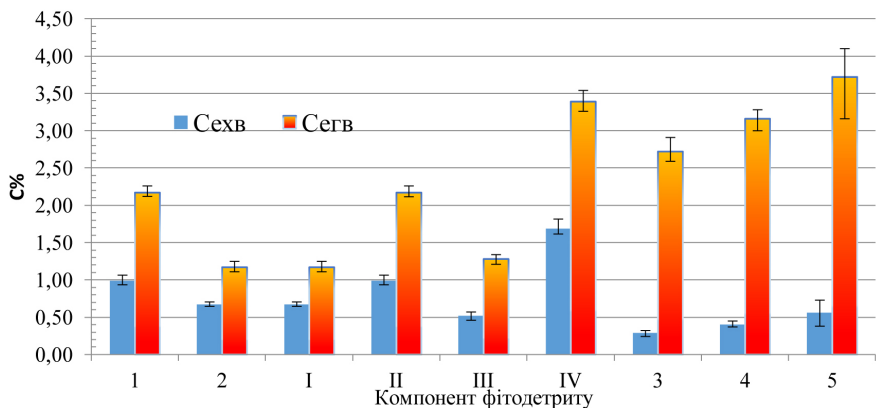


Рис. 1.1 Концентрація водорозчинного Карбону в компонентах фітодетриту в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини

1 - гілки, 2 - сухостій, 3 - коріння, 4 - інший кореневий детрит, 5 - підстилка, I-IV - стадії розкладу грубих деревних залишків.

Визначення вмісту водорозчинного Карбону в грубих деревних залишках (CWD) проводили в зразках ламані чотирьох класів розкладу. Фракцію гілки (1-7 см) прийняли як II клас розкладу, фракцію сухостій як I клас, із відповідними концентраціями $C_{\text{пор}}$. Пул $C_{\text{пор}}$ для підстилок визначався з врахуванням співвідношення запасів її компонентів і концентрацій в них $C_{\text{егв}}$.

Встановлено, що ламань II класу розкладу характеризується збільшенням концентрації рухомих форм Карбону, тоді як на наступній III стадії зафіксовано зменшення його вмісту до рівня I класу. Однак, найбільше значення $C_{\text{пор}}$ виявлене у IV класі розкладу, в порівнянні із попередньою стадією його вміст збільшується в 3,3 для C_{exv} і 2,6 для $C_{\text{егв}}$, що може бути обумовлене зростанням біомаси мікробного комплексу, який здійснює розклад деревини, а саме - інвазії дереворуйнуючих грибів, які приурочені до ходів, утворених комахами-ксилофагами). Загалом, концентрація $C_{\text{пор}}$ в ламані на різних стадіях розкладу варіює в межах 0,52-1,69 для C_{exv} і 1,17-3,39 % для $C_{\text{егв}}$. У порівнянні із підстилкою та кореневим детритом, у ламані виявлено збільшення вмісту $C_{\text{егв}}$ від C_{exv} лише в 1,8-2,5 рази.

Пул рухомого Карбону у фітодетриті досліджуваних екосистем змінюється від 0,4 до 0,85 т·га⁻¹ (рис. 1.2). Його мінімальні запаси виявлені у 30 - ти річній екосистемі, основна частина якого припадає на підстилку (62,5%), на грубі деревні залишки і кореневий детрит 25 та 12,5% відповідно.

Встановлено, що пул $C_{\text{пор}}$ в буково-дубовому ялиннику становить 0,52 т·га⁻¹ У цій екосистемі запаси $C_{\text{пор}}$, на відміну від загального С є більшими, ніж у екосистемі 30-ти річного ялицево-букового ялинника, що зумовлено більшою часткою листя у підстилці, яке має більшу концентрацію рухомих форм Карбону. Частка $C_{\text{пор}}$ підстилки від загальних його запасів становить 76,9%, $C_{\text{пор}}$ дебрису і кореневого детриту становить відповідно 13,5 і 9,6%. В умовно корінному

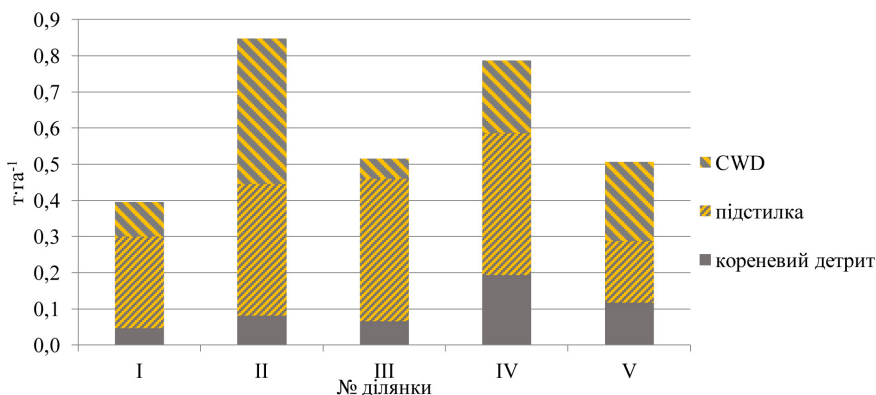


Рис.1.2. Запас рухомого Карбону у фітодетриті в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини т·га⁻¹, назви дослідних ділянок подані в табл.1.2

угрупованні, де запаси $C_{\text{пор}}$ у фітодетриті становлять $0,51 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, виявлено більш рівномірне розподілення по компонентах фітодетриту: на CWD припадає 43,1 на підстилку 33,3 а на кореневу мортмасу - 23,6%. У екосистемі 70-ти річного ялицевого ялинича запас рухомого С становить $0,79 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, де на підстилку припадає 50%; CWD – 25,6%; частка кореневий детриту становить - 24,4%, що є найбільшим запасом серед досліджуваних екосистем. Найбільші запаси виявлені у екосистемі 45-ти річного букового ялинича $0,85 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, як згадувалось раніше такий пул сформований в основному за рахунок грубих деревних залишків $0,4 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ (47,1%), частка підстилки в запасах $C_{\text{пор}}$ фітодетриту екосистеми становить 42,3 та кореневого детриту 10,6%.

Загалом, співвідношення запасів $C_{\text{пор}}$, у порівнянні із співвідношенням загальних запасів Карбону, спостерігається зменшення частки $C_{\text{пор}}$ в грубих деревних залишках, що пов'язано із меншою його середньою концентрацією, ніж в інших компонентах фітодетриту. Отже, в трьох досліджуваних екосистемах 30-ти річного ялицево-букового ялинича, 50-ти річного буково-дубового ялинича та 70-ти річного ялицевого ялинича основним резервуаром рухомого Карбону є підстилка, в інших двох, цей запас більш рівномірно розподілений між CWD і підстилкою.

Органічна речовина ґрунту (гумус) це - сукупність органічних сполук у ґрунтовому профілі, які втратили зв'язок з елементами структурної організації клітин і тканин. Гумус є суто ґрунтовим утворенням. Запас Карбону в ґрунті залежить від вмісту даного елемента, щільності будови (або об'ємної ваги) та потужності ґрунтових горизонтів. Унаслідок гумусово-акумулятивного процесу в ґрунтах буроземного типу ґрунтоутворення, в гумусовому горизонті Н відбувається накопичення гумусу, що зумовлює його темно-сіре з бурим відтінком забарвлення. Це забарвлення пов'язане з наявністю значної кількості фульвокислот та оксидів заліза.

Для встановлення запасу Карбону гумусових сполук ($C_{\text{гумусу}}$) в ґрунті необхідним є визначення його концентрації та щільності будови ґрунту.

За результатами польових досліджень встановлено, що щільність будови (d_v) органо-мінерального профілю ґрунтів досліджуваних екосистем змінюються в межах 0,45-1,4 г·см⁻³ та збільшується із глибиною (рис. 1.3).

Найменше значення d_v виявлено на глибині 5 см у ґрунті 70-ти річного ялицевого ялинника у Нт горизонті (0,45 г·см⁻³), що зумовлено оторфованістю цього горизонту. Внутрішньопрофільні зміни d_v в ґрунтах усіх досліджуваних екосистем (за винятком 30-ти річного ялицево-букового ялинника) до глибини 20 см характеризуються тенденцією збільшення показника в межах 57-117%, в ґрунті 30-ти річного ялицево-букового ялинника спостерігається значне (понад 230%) збільшення до 1,36 г·см⁻³, очевидно це пов'язано із постагрогенним походженням (трансформованістю) цього ґрунту, що в свою чергу зумовило розвиток процесу внутрішньоґрунтового оглеєння Hr_{gr} горизонту, тоді як на глибині 60 см щільність наближається до показників решти досліджуваних ґрунтів 1,26-1,34.

Вміст Карбону гумусових сполук в ґрунтовому профілі досліджуваних екосистемах у верхніх горизонтах становить 2,3-4,2 % і різко зменшується з глибиною до 0,4-0,7 (рис. 1.4). Ця тенденція є характерною для профільного розподілу органічного Карбону в буроземах Українських Карпат (Оленчук, 1969).

На підставі концентрації Карбону та щільності ґрунтових горизонтів, розраховано запаси $C_{\text{гумус}}$ в ґрунтах досліджуваних екосистем. Встановлено, що в 50 см шарі запас $C_{\text{гумус}}$ змінюються в межах 34,67-71,73 т·га⁻¹ (рис. 1.4). Різниця запасів $C_{\text{гумус}}$ насамперед пов'язана з концентрацією Карбону гумусових сполук, передов-

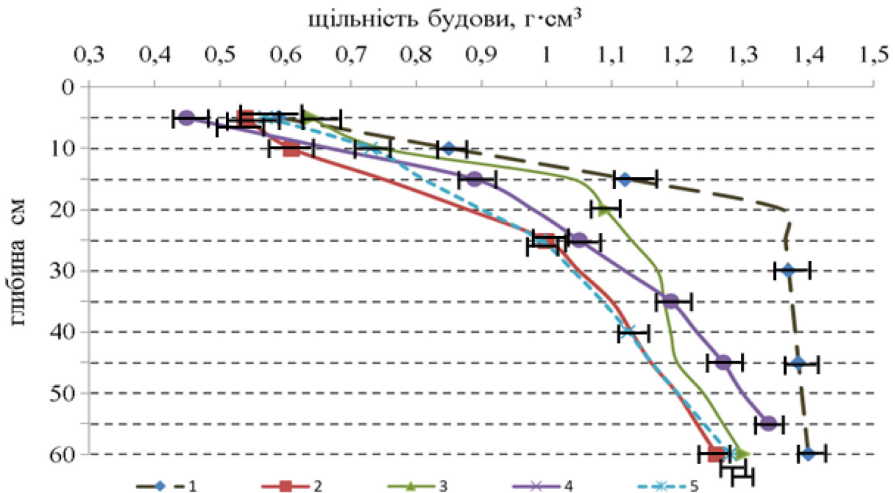


Рис. 1.3. Профільна диференціація щільності будови бурих лісових ґрунтів в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини г·см⁻³ (n=3), (назви ділянок див. табл. 1.2)

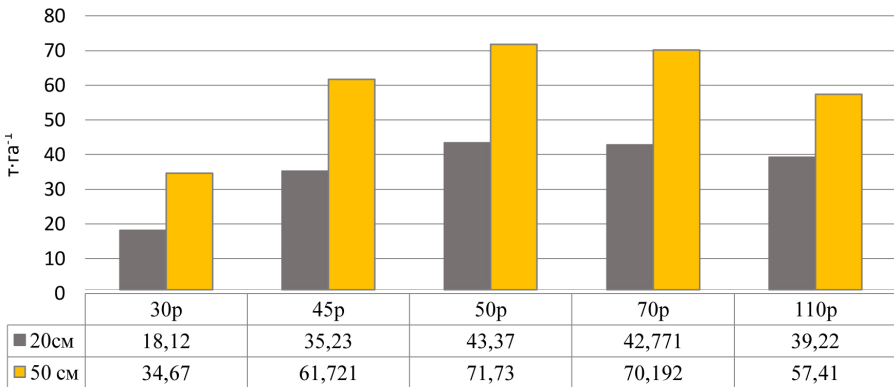


Рис. 1.4. Запас Карбону в 20 і 50-ти см шарі бурих лісових ґрунтів в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини $t \cdot ha^{-1}$, (назви ділянок подані в табл. 1.2)

сім в горизонті Н, що детерміновано кількістю та якісним складом рослинного опаду та відпаду, а в окремому випадку - трансформованістю ґрунтового покриву (30-ти річний ялицево-буковий ялиничник).

Шар 0-20 см органо-мінеральної частини ґрунтового профілю вирізняється найбільшим надходженням органічних залишків, високою мікробіологічною активністю і значною інтенсивністю процесів мінералізації та гуміфікації (Wachinger, 2000).

Близько 52-68% запасів $C_{\text{гумус}}$ зосереджено в 20-см шарі ґрунтового профілю (рис. 2.4). Загалом його запаси змінюються у відносно незначних межах: 35,23-43,37 $t \cdot ha^{-1}$, за винятком ділянки 30-ти річного ялицево-букового ялиничника де запаси становлять 18,12 $t \cdot ha^{-1}$, це зумовлено незначною потужністю гумусового горизонту - 6,0 см та низькою концентрацією гумусових сполук (табл. 1.4), що пов'язано з його формуванням з колишнього орного горизонту.

Використовуючи в якості джерела живлення різноманітні органічні субстрати, гетеротрофні мікроорганізми (бактерії, гриби, актиноміцети) забезпечують до 80-90% мінералізації загальної первинної продукції наземних екосистем (Аристовская, 1980). Мікробна біомаса ґрунтів є пулом легкомінералізованої органічної речовини та основним агентом мінералізації рослинних решток та гумусових сполук. При відносно незначній частці С мікробної біомаси ($C_{\text{мб}}$) в загальних запасах ґрунтової органічної речовини (0,3-3,0%), велике значення має її біотична активність, що забезпечує перерозподіл Карбону в ґрунтовому профілі, його міграцію, процеси синтезу мікробної біомаси, виділення CO_2 та новоутворення гумусових сполук.

Найбільша концентрація мікробної біомаси виявлена у верхніх Н і Нt горизонтах ґрунту і в залежності від екосистеми, змінюється в межах 560,09-913,98 $mk \cdot g^{-1}$ (табл.1.5). В перехідному горизонті концентрація $C_{\text{мб}}$ зменшується в 5,6-7,0 разів. В екосистемі 70-ти річного ялицевого ялиничника при переході з горизонту Нt до Н зменшення є менш різким (1,2 рази). Різниця вмісту Карбону мікробної біомаси в

Таблиця 1.4

Вміст і запас Карбону гумусових сполук в досліджуваних лісових екосистемах
Стрийсько-Сянської Верховини т·га⁻¹

грунтовий горизонт	глибина см	C _{гумус}		C _{пор}		C _{пор} /C _{гумус} %
		C %	т·га ⁻¹	C %	т·га ⁻¹	
30-ти річний ялицево-буковий ялинник						
H	3-9	2,80±0,15	9,91	0,055±0,008	0,19	1,96
Hp	9-28	0,43±0,02	11,11	0,005±0,002	0,12	1,12
Ph	28-65	0,39±0,01	20,20	0,003±0,001	0,13	0,67
45-ти річний буковий ялинник						
H	3-17	3,50±0,28	29,89	0,078±0,003	0,75	2,23
Hp	17-52	0,84±0,07	31,16	0,016±0,003	0,59	1,96
Ph	52-72	0,53±0,01	13,36	0,003±0,001	0,11	0,48
50-ти річному буково-дубовий ялинник						
H	4-19	3,42±0,42	38,48	0,088±0,012	0,88	2,58
Hp	19-50	0,83±0,03	30,36	0,016±0,002	0,60	1,90
Ph	50-67	0,37±0,01	8,18	0,004±0,001	0,06	1,19
70-ти річний ялицевий-ялинник						
Ht	4-9	5,60±0,62	12,60	0,185±0,026	0,42	3,30
H	9-24	2,26±0,12	30,17	0,066±0,009	0,88	2,90
Hp	24-52	0,79±0,02	26,32	0,0017±0,002	0,57	2,16
Ph	52-72	0,41±0,01	10,99	0,004±0,001	0,12	1,08
110-ти річний буково-ялиновий яличник						
H	2-17	3,10±0,35	33,95	0,085±0,005	0,93	2,74
Hp	17-47	0,71±0,05	21,09	0,016±0,003	0,49	2,32
Ph	47-75	0,37±0,02	13,26	0,006±0,001	0,23	1,71

грунтах досліджуваних екосистем обумовлена породним складом деревостанів, і як результат різним біохімічним впливом рослинного детриту на мікробіоту.

Частка мікробного Карбону у вуглєді гумусових сполук (C_{гумус}) - важливий показник якості органічної речовини і її відносної доступності, для ґрунтових мікроорганізмів. В досліджуваних ґрунтах відношення C_{мб}/C_{гумус} у верхньому гумусовому горизонті (H) становить - 1,6-2,3% та суттєво не змінюється в горизонті Hp - 1,4-2,3%, винятком є ґрунт під ялицевим ялинником де в горизонті H C_{мб} від

Таблиця 1.5

Вміст і запаси Карбону мікробної біомаси в ґрунтах досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини

Одиниця виміру	№ ділянки				
	I	II	III	IV	V
	горизонт				
	H	H	H	Ht	H
мк·г ⁻¹	560,09±58,24	913,98±78,27	909,16±75,65	908,49±99,32	644,08±72,17
т·га ⁻¹	0,20	0,69	0,87	0,20	0,55
горизонт					
	Hp	Hp	Hp	H	Hp
мк·г ⁻¹	99,32±7,14	160,30±12,23	130,38±9,85	730,52±85,35	100,25±7,15
т·га ⁻¹	0,26	0,59	0,47	0,98	0,30
0-20см					
мк·г ⁻¹	0,39	0,79	0,94	1,15	0,60

назви дослідних ділянок подані в табл.1.2

$C_{\text{гумус}}$ становить 3,2%, що може свідчити про акумулювання Карбону ґрунтовою мікробною біомасою (Alban, 1993).

Сумарні запаси $C_{\text{мб}}$ в ґрунтовій товщі 0-20 см змінюються в межах 0,39-1,15 т·га⁻¹. Найменші запаси виявлені у екосистемі 30-ти річного ялицево-букового ялинника, а найбільші у 70-ти річного ялицевого ялинника. Така різниця у запасах передусім пов'язана із вмістом водорозчинних сполук, які є субстратом для їх живлення. Свідченням цього є тісний кореляційний зв'язок між запасами $C_{\text{мб}}$ і $C_{\text{пор}}$ та між $C_{\text{мб}}$ і $C_{\text{гумус}}$ ($r=0,82$).

1.2. Пули Карбону в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини

За даними Н.Н Кошуриркової (Кошуриркової, 2006) запаси Карбону в лісових екосистемах 90-річних темнохвойних лісів південної тайги становлять 277,38 С т·га⁻¹ із співвідношенням – $C_{\text{фітомаса}}$; $C_{\text{фітодетрит}}$; $C_{\text{гумус}}$ 25:33:42% відповідно. В лісових екосистемах Східних Бескидів (Українські Карпати) такі запаси змінюється в межах 128-147 С·т·га⁻¹ і співвідносяться як 54:10:41% (Шпаківська, Марискевич, 2009).

Встановлено, що запаси Карбону в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини становлять 144,71-271,73 т·га⁻¹ (табл. 1.6; рис. 1.5). Частка Карбону фітомаси знаходиться в межах 52,3 - 71,3% (рис.1.6).

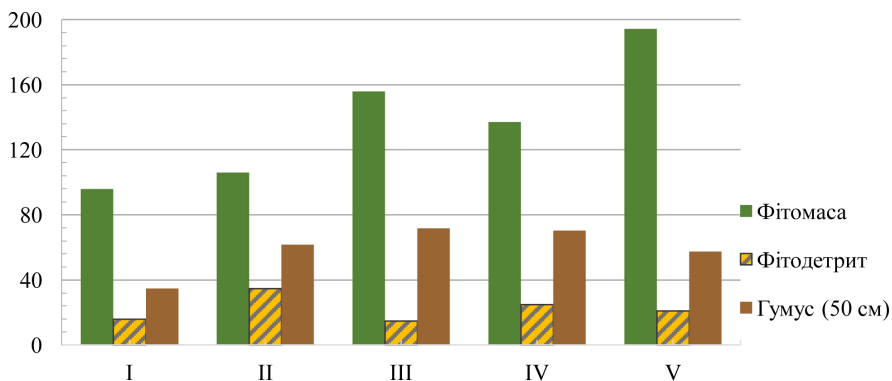


Рис.1.5 Пул Карбону в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, (назви ділянок подані в табл. 1.2)

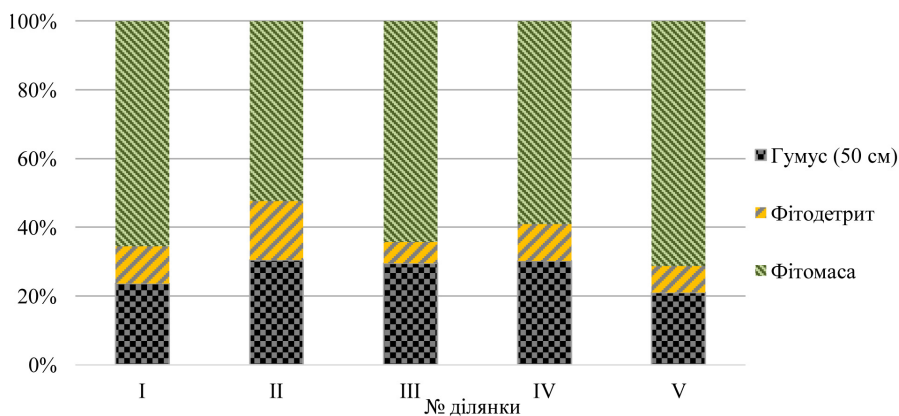


Рис. 1.6 Структура пулу Карбону в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, (назви ділянок подані в табл. 1.2)

Участь фігодетриту у екосистемному пулі C_{org} є найменшою 14,76-34,77 що відповідає (6,1-17,2%), однак його пул в легкомінералізованому вуглеці екосистеми є основним – 96,5 – 98,8%, що дозволяє вважати його запаси у вуглецевому балансі вкрай вагомими. Максимальний запас фігодетриту припадає на екосистему 45-ти річного букового ялинника, що обумовлено значним вкладом грубих деревних залишків.

Частка запасів $C_{гумус}$ в 50 см шарі ґрунту від загального Карбону екосистеми є порівняно невеликою і становить 23,7-30,5%, причиною цього насамперед є едафо-кліматичні фактори, що сприяють інтенсифікації процесам мінералізації рухомих форм гумусових сполук, і як результат уповільнення процесів гуміфікації. Загалом, в досліджуваних екосистемах співвідношення запасів Карбону між

Таблиця 1.6

Розподіл Карбону в основних компонентах досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, т·С·га⁻¹

Основні компоненти	№ ділянки*				
	I	II	III	IV	V
фітомаса надґрунтової частини	72,05	81,49	124,53	111,71	167,33
в тому числі: деревостан	71,42	80,64	123,63	109,42	165,27
підріст	0,61	0,32	0,39	1,56	1,35
моховий ярус	0,02	0,14	0,04	0,04	0,11
трав'яно-чагарничковий ярус	—	0,39	0,48	0,7	0,59
фітомаси підземної частини	23,79	24,32	31,34	25,33	27,05
в тому числі: деревостан	23,52	23,9	30,8	24,31	26,12
підріст+підлісок	0,27	0,15	0,18	0,75	0,68
трав'яно-чагарничковий ярус	—	0,28	0,36	0,27	0,25
фітомаса разом	95,84	105,81	155,87	137,04	194,37
фітодетрит надземна частина	14,56	31,99	12,99	19,67	17,69
C _{POB}	0,7	1,54	0,9	1,18	0,78
у тому числі CWD	7,84	23,5	3,83	10,41	13,01
C _{POB}	0,2	0,8	0,1	0,4	0,44
підстилка	6,71	8,49	9,16	9,26	4,67
C _{POB}	0,5	0,72	0,8	0,78	0,34
фітодетрит підземна частина	1,28	2,78	1,77	5,3	3,23
C _{POB}	0,1	0,16	0,14	0,38	0,24
фітодетрит разом, у т.ч	15,84	34,77	14,76	24,97	20,92
C_{POB} разом	0,8	1,7	1,04	1,58	1,02
C _{ГУМУС} ґрунту (0-50 см),	34,67	61,72	71,73	70,19	57,41
в т.ч C _{POB} ґрунту (0-50см)	0,4	1,34	1,5	1,88	1,46
ЗАГАЛЬНИЙ ЗАПАС	146,35	202,3	242,36	232,2	272,7
у т.ч C _{POB}	1,2	3,04	2,54	3,46	2,48

основними компонентами має вигляд $C_{\text{фітомаса}} > C_{\text{гумус}} > C_{\text{фітодетрит}}$, що відповідає змінам їх запасів в межах: 52,3-71,3%, 23,7-30,5%, 6,1-17,2%.

Фракція органічної речовини, яка легко мінералізується, є основним джерелом формування потоку Карбону до атмосфери у вигляді CO_2 . Вона складається з органічної речовини рослинних решток на поверхні і в ґрунтовій товщі, а також рухомої частини гумусових сполук (Титлянова, 1999). Її запас Карбону у фітодетриті та 50-ти см шарі ґрунту досліджуваних екосистем змінюється від 15,5 до 35,4 т·га⁻¹ $C_{\text{лмор}}$ (табл.1.6), що становить 17,9 - 36,7 % від загального Карбону ґрунтового блоку.

Основна частина фракції представлена рослинними залишками (фітодетритом ($C_{\text{лор}}$)). На частку рухомих форм Карбону $C_{\text{рор}}$ фітодетриту і гумусу в залежності від екосистеми припадає 3,8-8,6% від $C_{\text{лмор}}$.

Отже, в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини фітомаса є основним резервуаром накопичення Карбону на частку якої припадає від 52,3 до 71,3% від загального запасу С в екосистемі.

Частка запасу $C_{\text{гумус}}$ в 50см шарі ґрунту від загального Карбону екосистеми є найменшою і становить 23,7-30,5%. Різниця запасів Сгумус в досліджуваних екосистемах насамперед пов'язана з незначними його запасами в екосистемі ялицево-букового ялинника віком 30 років, що зумовлено незначною потужністю гумусового горизонту (6,0 см) та низьким вмістом Карбону гумусових сполук, що обумовлено створенням цього похідного ялинника на місці колишньої ріллі. На частку водорозчинних форм гумусових сполук припадає від 1,2 до 2,7 %.

Виявлено, що із збільшенням віку екосистем збільшується загальний запас С, в основному, за рахунок збільшення фітомаси. Розподіл С між основними блоками екосистеми має вигляд $C_{\text{фітомаса}} > C_{\text{гумус}} > C_{\text{фітодетрит}}$.

1.3. Інтенсивність обмінних потоків Карбону

Цикл Карбону в лісових екосистемах розглядається як складна взаємодія двох основних процесів: поглинання атмосферного двоокису Карбону (CO_2) надземною рослинністю для створення продукції та емісія в атмосферу С- CO_2 в результаті розкладу мертвої органічної речовини, зосередженої як на поверхні, так і в товщі ґрунту. Дослідження вуглецевого балансу супроводжується кількісною оцінкою інтенсивності, швидкості та співвідношення продукційних і деструкційних процесів вуглецевого циклу (Ведрова, 2002).

Найбільш важливою характеристикою продуктивності лісових екосистем є інтенсивність продукування органічної речовини, та величини чистої первинної продукції (NPP). Дослідження продукування органічної речовини різними угрупованнями становить значне зацікавлення, як основи для оцінки складних енергетичних зв'язків в екосистемах. Цей показник характеризує фактичний приріст фітомаси за певний проміжок часу на одиницю площі. Величина приросту деревостану варіює в значних межах: від 2,6 до 4,0 т·га⁻¹ в лісотундрі, 8,1-10,0 т·га⁻¹

в мішаних лісах та в хвойних лісах становить 6,1-14,2 т-га⁻¹ органічної речовини (Базилевич, 1971). Ялинові ліси Українських Карпат акумулюють від 7,6 до 11,3 т-га⁻¹рік⁻¹ (Голубець, Половников, 1975), букові - 8,1-19,8, а буково-ялинові й ялинові відповідно 12,7 та 17,5 т-га⁻¹ (Биогеоценологический покров..., 1983).

В досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини деревний ярус формує щорічно від 9,61 до 12,92 т-га⁻¹ органічної речовини. Максимальне значення NPP припадає на екосистему 70-ти річного ялицевого ялиника (табл. 2.7). Величина річної чистої продукції фітомаси в значній мірі формується за рахунок приросту стовбурів - 40-49%, тоді як частка хвої (листя) становить 18-37%, гілок 16-19% а коріння - 10-19% (рис.1.7)

Найменший чистий приріст фітомаси виявлений у 30-ти річному ялицево-буковому ялинику - 9,61 т-га⁻¹, що в першу чергу обумовлено незначними запасами фітомаси деревного ярусу.

В досліджуваній екосистемі розподіл чистого приросту деревного ярусу за породами має наступний вигляд: бук - 49, ялина -34 і ялиця 17% (табл.1.7). Компонентний приріст співвідноситься як: стовбур 40, хвоя 27, гілки і коріння відповідно 16 та 18%. Подібно низька величина приросту деревного ярусу виявлена у 110-ти річному буково-ялиновому яличнику (9,65 т-га⁻¹), незначний приріст фітомаси зумовлений зменшенням ефективності формування річного приросту стиглих деревостанів (Родін, Базилевич, 1965). В цій умовно-корінній екосистемі основна частина приросту припадає на ялицю 80 на ялину і бук по 10%. Розподіл річного накопичення фітомаси між компонентами деревостану відрізняється від 30-ти літнього деревостану і співвідноситься як 49; 22; 19; 10% відповідно для стовбура, хвої (листя), гілок, коріння.

Щорічний чистий приріст фітомаси у 45-ти річному буковому ялинику становить 11,17 т-га⁻¹, де ялина продукує 92% від усієї річної продукції деревного ярусу. На приріст стовбуру припадає 46%, в однаковій мірі в продукції фітомаси

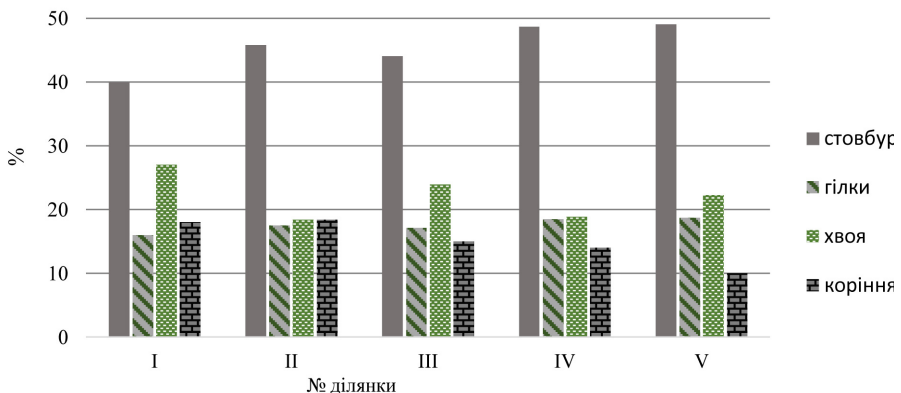


Рис.1.7 Розподіл NPP по компонентах деревостану в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, % (назви ділянок подані в табл. 1.2)

беруть участь гілки, хвоя (листя) та коріння, частка яких становить відповідно 17; 18; 18%. Дещо більший приріст деревного ярусу виявлений у 50-ти річному буково-дубовому ялиннику 11,82 т·га⁻¹. Частка NPP ялини становить 67%. Частка приросту стовбура є дещо меншою від 45-ти річного угруповання (44%), що зумовлене значною масою листя дуба, яке приростає протягом року. Частка гілок і коріння становить відповідно 17 та 15%.

Найбільший чистий приріст виявлений в 70-ти річному ялицевому ялиннику 12,92 т·га⁻¹, де на ялину і ялицю припадає відповідно 60 і 40%. Участь стовбура в структурі NPP збільшується до 49%. Приріст гілок, хвої і коріння становить відповідно 18, 19 та 14%

Таблиця 1.7

Чистий приріст органічної маси деревостанів в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини т·га⁻¹ рік

Ділянка	Порода	Компоненти фітомаси				
		стовбур	гілки	хвоя (листя)	коріння	разом
30-ти річний ялицево-буковий ялинник	ялина	1,47	0,56	0,57	0,66	3,27
	ялиця	0,74	0,28	0,29	0,33	1,63
	бук	1,60	0,66	1,73	0,72	4,70
	всього	3,81	1,50	2,59	1,71	9,61
45-ти річний буковий ялинник	ялина	4,73	1,80	1,83	1,87	10,22
	бук	0,38	0,16	0,22	0,18	0,95
	всього	5,11	1,95	2,05	2,05	11,17
50-ти річному буково-дубовий ялинник	ялина	3,80	1,44	1,47	1,16	7,88
	бук	0,39	0,16	0,13	0,16	0,84
	дуб	1,01	0,41	1,22	0,46	3,10
	всього	5,21	2,02	2,82	1,77	11,82
70-ти річний ялицевий-ялинник	ялина	3,77	1,43	1,46	1,09	7,75
	ялиця	2,51	0,96	0,98	0,72	5,17
	всього	6,29	2,39	2,44	1,81	12,92
110-ти річний буково-ялиновий яличник	ялина	0,49	0,19	0,19	0,09	0,97
	ялиця	3,96	1,50	1,54	0,76	7,76
	бук	0,28	0,11	0,42	0,11	0,93
	всього	4,73	1,81	2,15	0,96	9,65

Аналіз фракційної структури річного приросту фітомаси деревостанів досліджуваної території не виявив однозначних відмінностей між ними. На думку ряду дослідників, особливості приросту та його складових у різних типах лісу найповніше виявляються при співставленні його інтенсивності з запасом фітомаси - питома річна продукція (Лакида, 2001).

В досліджуваних екосистемах найбільшим питомим приростом фітомаси характеризуються 30-ти і 45ти- річні угруповання відповідно 5 і 5,3 % (табл.1.8)

Питома частка приросту хвої серед усіх досліджуваних екосистем є найвищою і знаходиться в межах 24,7-14,4%. У 50-ти річному буково-дубовому ялинику питомий приріст становить 3,7%. У 70-ти річному ялицевому ялинику спостерігається збільшення приросту у порівнянні із 50 ти річним угрупованням, що, насамперед пов'язано із відмінностями породного складу та зімкнутістю деревостану. Найменше значення питомого приросту деревного ярусу виявлено у 110-ти річному буково-ялиновому яличнику - 2,5%. Загалом, із збільшенням віку частка сумарного приросту від фітомаси деревостану зменшується. Отримані нами характеристики збігаються з опублікованими раніше даними (Голубець, Полонников, 1975).

При оцінці NPP фітоценозу облік річного приросту по окремих ярусах дозволяє глибше зрозуміти взаємодію деревної рослинності трав'яно-чагарничкового і мохового ярусів. За даними Я.П. Одинака, Д. В. Борсука (Биогеоценологический покров..., 1983) річним приростом трав'яного ярусу букових лісів Українських Карпат утворюється 0,1-0,5 т·га⁻¹ для ялинових лісів 0,01 – 0,2 т·га⁻¹ (Голубець, Полонников, 1975).

За нашими даними в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини річний приріст фітомаси підросту знаходиться в межах 0,06-0,37 т·га⁻¹ (табл.1.8).

Таблиця 1.8

Частка чистого приросту фракцій деревостану від запасів їх фітомаси в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини %

№ ділянки	Компоненти фітомаси,%				% сумарного приросту від фітомаси деревостану
	стовбур	гілки	хвоя	коріння	
I	3,4	7,3	24,7	3,6	5,0
II	3,9	10,5	18,0	4,3	5,3
III	2,5	6,7	21,0	2,9	3,7
IV	3,4	12,3	15,0	3,7	4,8
V	1,7	5,3	14,4	1,8	2,5

(назви ділянок подані в табл. 1.2)

У порівнянні із запасами фітомаси, частка чистого приросту ефемероїдів від загального приросту надґрунтової фітомаси є більшою і змінюється в межах 0,01-0,09 т·га⁻¹, що зумовлене значним відсотком приросту від загальної фітомаси ефемероїдів (понад 33%). Основний приріст нижніх ярусів припадає на трав'яно-чагарничковий ярус (без ефемероїдів) 0,8 – 1,15 т·га⁻¹, що становить 75-88% від усього чистого приросту цього ярусу, це зумовлено як значним відсотком приросту трав'яно-чагарничкового ярусу від його загальної його фітомаси (59-66%), так і порівняно значними його запасами.

Загалом, продуктивність нижніх ярусів в досліджуваних фітоценозах залежить від зімкнутості деревостанів, загущеності підросту і підліску, а також пов'язана зі змінами, що відбуваються в деревостанах в процесі вікового розвитку.

Сумарна інтенсивність акумулювання Карбону коливається від 4,73 до 7,12 т С·га⁻¹ (табл. 2.9). Основна його частина припадає на деревний ярус: від 87% в умовно корінному 110 ти річному буково-ялиновому яличнику до 99% в 30-ти річному ялицево-буковому ялиннику. Участь підросту в формуванні Карбону є незначною - 0,03 - 0,20 т С·га⁻¹, що становить 0,5-3,3% від загальної NPP рослинними угрупованнями (табл.1.9).

Частка трав'яно-чагарничкового ярусу в загальному чистому прирості становить від 0 до 10% та збільшується із збільшенням віку деревостанів. Загалом в досліджуваних екосистемах із збільшенням віку спостерігається збільшення частки приросту С в підрості і трав'яно-чагарничковому ярусі, що забезпечує своєрідною компенсацією загальної продукції Карбону за рахунок різних ярусів рослинності.

Важливою характеристикою біопродукційного процесу є кількість первинної продукції, що відмирає протягом року та надходить в опад. Мертві рослини залишки, потрапляючи на поверхню ґрунту, стають основним джерелом органіч-

Таблиця 1.8

Чистий приріст рослин нижніх ярусів в досліджуваних лісових екосистемах Стризько-Сянської Верховини т·га⁻¹ рік⁻¹

Ярус рослинності	№ ділянки				
	I	II	III	IV	V
Підріст	0,12	0,07	0,07	0,37	0,34
Трав'яно-чагарничковий ярус (без ефемероїдів)	0,00	0,80	0,89	1,15	1,05
Ефемероїди	—	0,06	0,09	0,01	0,02
Всього	0,12	0,93	1,04	1,54	1,40

(назви ділянок подані в табл. 1.2)

Таблиця 1.9

Інтенсивність акумулювання Карбону в чистій первинній продукції
в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини,
т·га⁻¹Срік⁻¹

Ярус рослинності	№ ділянки				
	I	II	III	IV	V
Надґрунтова частина	3,87	4,85	5,32	6,14	4,88
Деревостан	3,81	4,45	4,88	5,43	4,24
Підріст	0,04	0,03	0,03	0,12	0,11
Трав'яно-чагарничковий ярус	—	0,36	0,40	0,52	0,48
Підземна частина	0,86	1,10	0,98	0,98	0,55
Коріння деревостану	0,86	1,03	0,89	0,91	0,48
Коріння підросту	0,02	0,01	<0,01	0,08	0,07
Коріння трав'яно-чагарничкового ярусу	—	0,07	0,09	0,06	0,06
Разом	4,73	5,94	6,29	7,12	5,43

(назви ділянок подані в табл. 1.2)

ної речовини блоку «ґрунт». До опадів належать: опад деревного ярусу, кореневий опад, а також відмерлі частини рослин трав'яно-чагарничкового і мохового ярусів (Карпачевский, 1984).

Кількість опадів у хвойних лісах коливається від 2 до 7 т·га⁻¹, що становить 1,5-2,0 % органічної речовини зосередженої в біомасі фітоценозу (Родин, Базилевич, 1965). Для букових лісів Бескидського регіону Українських Карпат опад деревного і трав'яно-чагарничкового ярусів становить 3,6-4,1 т·га⁻¹ (Биогеоценотический покров ..., 1983).

В досліджуваних екосистемах величина річного опадів і відпаду що надходить на поверхню і в товщу ґрунту становить 6,16-9,92 т·га⁻¹ (табл.1.10), що відповідає 1,6 - 4,1% фітомаси екосистем. Основна частина надходження рослинних рештків припадає на опад деревного ярусу 73-89%. Частка трав'яно-чагарничкового становить від 0 до 11%.

Найбільші значення надходження опадів надземних органів деревного ярусу мали місце в 70-ти річному ялицевому ялинику 5,52 т·га⁻¹·рік, найменші у 30-ти річному ялицево-буковому ялинику 4,13 т·га⁻¹·рік. В усіх досліджуваних екосистемах основна маса опадів надземних органів деревного ярусу припадає на хвою (листя) 48-79%, частка гілок та плодів становить відповідно 15-20%; 1-8% (табл.1.11).

Таблиця 1.10.

Інтенсивність відмирання рослинної фітомаси в досліджуваних екосистемах
Стрийсько-Сянської Верховини т·га⁻¹·рік⁻¹

Ярус рослинності	№ ділянки				
	I	II	III	IV	V
Опад всього, в т.ч.	4,87	6,90	9,55	6,89	5,58
Надземна частина	4,13	5,76	8,22	5,99	5,02
Деревний ярус	4,13	5,26	7,70	5,52	4,49
Трав'яно-чагарничковий ярус	—	0,50	0,52	0,47	0,53
Підземна частина	0,74	1,13	1,33	0,90	0,57
Коріння деревостану	0,74	1,00	1,16	0,77	0,45
Коріння трав'яно-чагарничкового ярусу	—	0,13	0,17	0,13	0,12
Відпад всього	1,45	1,69	0,37	0,47	0,57
Разом	6,32	8,59	9,92	7,36	6,16

(назви ділянок подані в табл. 1.2)

Кількість і склад опаду, визначається вихідним матеріалом, який умовно поділяють за стійкістю до розкладу і виділяють дві фракції: активну (листя, хвоя) і неактивну (гілки, плоди) (Карпачевский, 1981). Тому була проаналізована структура опаду і питома частина окремих фракцій від їх сумарної кількості (рис.1.8).

Встановлено, що у досліджуваних екосистемах найбільшу частину опаду деревного ярусу становить його активна фракція - відповідно 77 % в 110 - річному буково-ялиновому яличнику ; 86 - 87 % в 70 - річному ялицевому ялинику і 45 - річному буковому ялинику; 81-83 % в 50 - річному буково-дубовому ялинику і 30 - річному ялицево-буковому ялинику. Отже, найменша частина активної фракції виявлена в 110 - річному буково-ялиновому яличнику. Це співпадає з літературними даними про зменшення частки активної фракції від загальної кількості опаду в стиглих деревостанах, що обумовлено збільшенням частки відмерлих гілок в загальному опаді внаслідок природного розрідження деревостану (Родин, Базилевич, 1965).

Відмирання підземних органів відбувається протягом усього вегетаційного сезону і характеризується різною інтенсивністю, яка в першу чергу регулюється запасом кореневих систем. Щорічне надходження Карбону до складу мертвої органічної речовини рослинних решток у товщі ґрунту становить від 0,9 до 1,2% вихідного запасу в хвойних культурах і 1,7-3,8% в листяних (Мухортова, 2001).

В досліджуваних екосистемах протягом року відмирає від 0,45 до 1,16 т·га⁻¹ коріння, що становить 1,1-2,3% його загального запасу. Коренева система трав'яно-

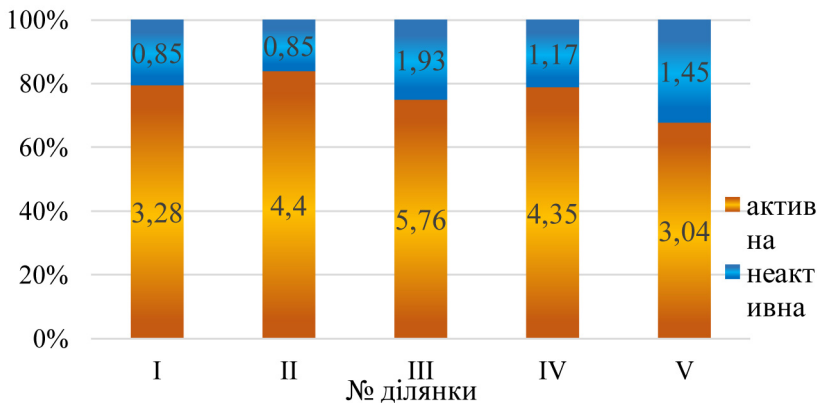


Рис.1.8 Співвідношення фракцій деревного опаду в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, (назви ділянок подані в табл. 1.2). Цифри у стовпцях – кількість деревного опаду $t \cdot га^{-1}$ за рік

чагарничкового ярусу не зважаючи на незначні запаси коріння, формує значну частину внутрішньогрунтового опаду від 0% 30-ти річному ялицево-буковому ялиннику, до 26% в умовно корінному 110-ти річному буково-ялиновому яличнику, що зумовлене особливостями онтогенезу трав'яних рослин (рис.1,9).

Інтенсивність відпаду органічної речовини акумульованої у відмерлих деревах (сухостій) змінюється в значних межах - від 0,37 до 1,45 $t \cdot га^{-1}$, що становить 3,8-22,9% від загального надходження фітодетриту протягом року.

Отже в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини протягом року інтенсивність надходження Карбону, що входить до складу опаду і відпаду стано-

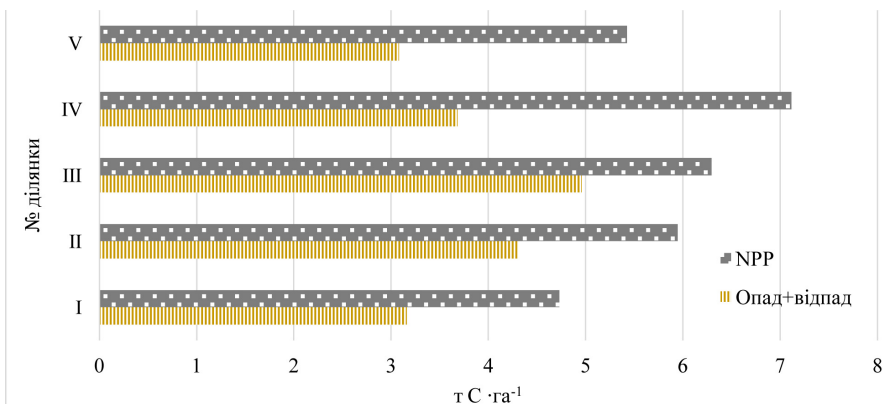


Рис.1.9 Приріст і відмирання фітомаси в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини $t \cdot га^{-1}$ рік, (назви ділянок подані в табл. 1.2)

виль від 52 до 79% від чистої первинної продукції (рис.2.9). Найбільшу частку опаду виявлено в екосистемі 50-ти - річного буково-дубового ялинника, що зумовлено насамперед значною кількістю опаду деревного ярусу (табл.2.11) Найменша частка надходження фітодетриту від величини річного приросту характерна для екосистеми 70-ти річного ялицевого ялинника в основному за рахунок великої кількості NPP.

Основна частина фітодетриту, що потрапляє на поверхню і в товщу лісових ґрунтів мінералізується, інша - бере участь в процесах гуміфікації. Новоутворені гумусові речовини в ґрунті частково реутилізуються мікроорганізмами, поповнюючи мінералізаційний потік. Сумарний мінералізаційний потік C-CO₂ в лісових екосистемах складається із розкладу підстилки, грубих деревних залишків (CWD), ґрунтового фітодетриту та мінералізації лабільних форм гумусу. Ступінь мінералізації органіки може бути оцінений через CO₂, що виділяється в екосистемі за рік, тобто через величину гетеротрофного дихання (Resp). В результаті сумарний мінералізаційний потік або гетеротрофне дихання розраховується як:

$$\text{Resp} = \text{CO}_{2\text{ДОР}} + \text{CO}_{2\text{РОР}}$$

Однією із особливостей деревних рослин є переважання в їх структурі біомаси здерев'янілих тканин, у зв'язку з чим в лісових угрупованнях вуглець акумулюється переважно в деревині. Його мобілізація відбувається в результаті біотичного розкладу деревної мортмаси - одного з найважливіших і специфічних екологічних процесів вуглецевого циклу лісових екосистем. Однак саме ця частина вуглецевого циклу найменш вивчена, що ускладнює оцінку потоків C-CO₂ між атмосферою і лісовим покривом. Тому одне з найбільш необхідних напрямів досліджень є ви-

Таблиця 1.11

Фракційний склад деревного опаду в досліджуваних екосистемах
Стрийсько-Сянської Верховини у чисельнику т·г⁻¹·рік, m; у знаменнику %

Фракція опаду	№ ділянки				
	I	II	III	IV	V
Гілки	<u>0,75±0,08</u> 18	<u>0,81±0,10</u> 15	<u>1,53±0,19</u> 20	<u>1,11±0,80</u> 20	<u>1,11±0,47</u> 25
Хвоя	<u>2,52±0,22</u> 61	<u>3,99±1,95</u> 76	<u>3,66±0,47</u> 48	<u>4,35±0,61</u> 79	<u>2,65±0,49</u> 59
Листя	<u>0,76±0,3</u> 18	<u>0,41±0,04</u> 8	<u>2,10±0,24</u> 27	—	<u>0,39±0,4</u> 9
Шишки	<u>0,10±0,04</u> 2	<u>0,04±0,01</u> 1	<u>0,40±0,09</u> 5	<u>0,06±0,02</u> 1	<u>0,34±0,09</u> 8
Разом	4,13 100	5,26 100	7,70 100	5,52 100	4,50 100

(назви ділянок подані в табл. 1.2)

вчення процесів біотичного розкладу деревини й обумовленої цим емісії С- CO₂ (Стороженко, 2001).

З огляду на це, визначення емісії CO₂ грубими деревними залишками оцінювали за мінералізацією деревини ламані ялини, різних стадій розкладу (I-IV). В результаті проведених досліджень, виявлено, що з деревини відбувається збільшення емісії С-CO₂ від першої до четвертої стадії розкладу. Мінімальне виділення С-CO₂ виявлено для першої стадії розкладу деревини: 0,71 мг·С-CO₂·кг·год (рис.1.10). Це зумовлено тим, що на цьому етапі відбувається заселення деревини грибами-деструкторами.

Друга стадія розкладу характеризується активнішою емісією CO₂, що свідчить про активізацію ксилолізу деревини, кількість виділення С-CO₂ у порівнянні із попередньою стадією збільшується в 11 разів і становить 7,85 мг·С-CO₂·кг·год. Деяко більші значення виявлені в деревині третьої стадії розкладу 9,82 мг·С-CO₂·кг⁻¹·год⁻¹, що у 1,3 рази більше від попередньої. Четверта стадія характеризується значною рихлістю і великим вмістом водорозчинних сполук (рис.4.1) в результаті чого емісія С-CO₂ є найбільшою - 17,28 мг·С-CO₂·кг·год. Загалом виявлено тісний кореляційний зв'язок між емісією С-CO₂ з ламані і вмістом в ній водорозчинних сполук Карбону ($r = 0.84$).

Інтенсивність емісії CO₂ з ґрунту, є показником ґрунтово-біологічних процесів та є одним із основних факторів продуктивності фітоценозу. Співвідношення складових емісії коливається залежно від кліматичних умов, типу екосистеми й типу ґрунту, а частка лісової підстилки як джерела емісії CO₂ становить 12-50% (Комиссарова, 1986). Процес виділення CO₂ у атмосферу може продовжуватися й незалежно від дихальної активності ґрунтів, лише за рахунок фізичних процесів, що підтверджується фактами реєстрації потоків CO₂ у зимовий період з поверхні тундрових ґрунтів, коли біотична активність ґрунтів практично припиняється (Федоров-Давыдов, 1986).

Дослідженнями емісії діоксиду Карбону з шару ґрунту (0-20 см) встановлено, що найбільші показники виділення CO₂ характерні для екосистеми 70-ти річного

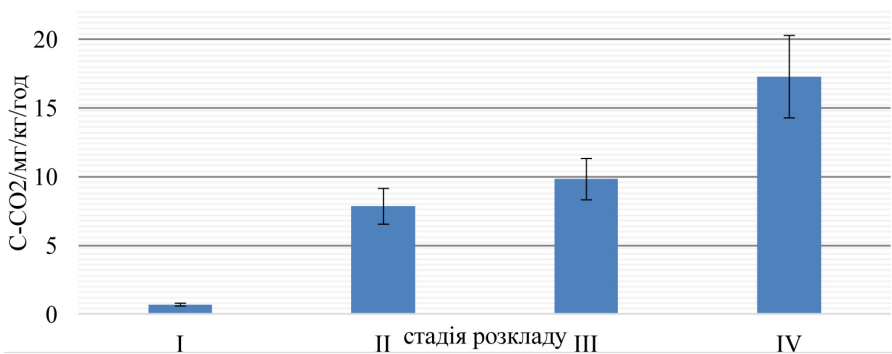


Рис.1.10. Інтенсивність виділення С-CO₂ із ламані в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, (назви ділянок подані в табл. 1.2).

ялицевого ялинника - $3,6 \text{ г-C-CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{доба}^{-1}$ (табл. 1.12). Вважаємо, що це передусім зумовлене кількісними та якісними показниками органічного Карбону як у підстилці, так і в ґрунті.

Подібну залежність виявлено в усіх зразках ґрунтових монолітів досліджуваних екосистемах. Виявлено тісний кореляційний зв'язок із вмістом водорозчинного Карбону в ґрунті і інтенсивністю виділення C-CO_2 ($r=0,91$), цей зв'язок є дещо вагоміший у порівнянні із результатами, що були отримані для екосистем Українських Карпат: Чорногірського масиву (Шпаківська, 2004) та Сколівських Бескидів (Шпаківська, 2008), де кореляція становила 0,74; 0,81 відповідно. Позитивний зв'язок $\text{C} - \text{CO}_2$ та $\text{C}_{\text{пор}}$ виявлений і для підстилки ($r = 0,46$).

Узагальнення експериментальних даних і їх перерахунок на річну емісію з врахуванням температурних коефіцієнтів, дозволив встановити, що сумарний мінералізаційний потік (Resp) у досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини становить $4,4-6,9 \text{ т-C-CO}_2 \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$. Основна частина потоку Карбону в атмосферу формується в результаті мінералізації рослинних решток і рухомих форм гумусу ґрунту. (рис.1.11). На частку виділення діоксиду Карбону в наслідок мінералізації кореневого детриту припадає 16-28%. Основна частка діоксиду Карбону продукується ґрунтом і підстилкою відповідно 34,4-38,7 і 29,9-48,1%. Внесок CWD в загальне гетеротрофне дихання становить від 1,2 до 12%.

При опаді рослинних залишків екосистема поповнює запас фітодетриту, який розкладається на поверхні і в товщі ґрунту. Рівновага процесів, що формують масу фітодетриту зміщується в бік його накопичення, якщо інтенсивність надходження переважає над його розкладом. Зворотне співвідношення цих процесів свідчить про накопичення органічної речовини. Для оцінки процесів, що формують запас надґрунтового фітодетриту, було проведено загальний аналіз зміни його маси протягом року. В досліджуваних екосистемах протягом року на поверхню ґрунту надходить від 2,79 до $4,30 \text{ т-C-га}^{-1}$, що становить 1,4-3,5% від надземної фітомаси екосистем. Втрати Карбону від розкладу фітодетриту становлять 44-93%

Таблиця 1.12

Виділення C-CO_2 з поверхні ґрунту (0 - 20 см) в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини $\text{г-C-CO}_2 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{доба}^{-1}$

компонент	№ ділянки				
	I	II	III	IV	V
підстилка	1,16±0,14	1,11±0,08	1,00±0,07	1,38±0,10	0,94±0,07
кореневий детрит	0,39±0,08	0,61±0,07	0,89±0,09	0,72±0,18	0,61±0,12
ґрунт	0,83±0,07	1,27±0,09	1,16±0,14	1,49±0,13	1,22±0,11
разом	2,38	2,99	3,04	3,60	2,77

(назви ділянок подані в табл. 1.2).

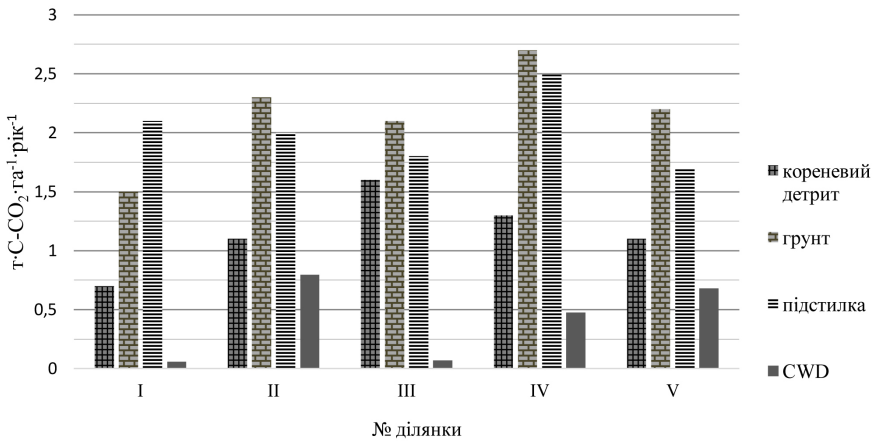


Рис.1.11. Інтенсивність виділення CO₂ компонентами ґрунтового блоку в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини т·С·СО₂·га⁻¹·рік⁻¹, (назви ділянок подані в табл. 1.2)

від його надходження (табл. 1.13). Отже, в усіх екосистемах спостерігається збільшення запасів фітодетриту протягом року. В основному воно є незначне від 0,22 до 0,92 т·С·га⁻¹, винятком є екосистема 50 - річного буково-дубового ялинника (2,41 т·С·га⁻¹), причиною цього є значне надходження опадів деревного ярусу та сповільнені темпи розкладу підстилки.

Баланс (надходження - мінералізація) запасів дебрису в усіх досліджуваних екосистемах є близьким до нуля і змінюється від -0,39 до +0,67 т·С·га⁻¹. Зменшення запасів протягом року виявлені в екосистемах 70 -ти і 110 - ти річних деревостанів відповідно -0,24 та -0,39; це пов'язано в основному за рахунок наявності більших запасів ламані останніх стадій розкладу, які в свою чергу, вивільняють С-СО₂ в декілька разів інтенсивніше у порівнянні із початковими стадіями розкладу (рис.6.4). Збалансованими в цих екосистемах є процеси, що формують запаси підстилки: -0,05 – +0,84 т·С·га⁻¹, за винятком екосистеми 50-ти річного буково-дубового ялинника, де протягом року накопичується – 2,27 т·С·га⁻¹.

Для визначення кількості міграції рухомого С з підстилки, були встановлені лізиметри. Зафіксовано, що величина міграції Карбону з підстилки є незначною (0,02-0,06 т·С_{роп}·га⁻¹) та становить 0,9-2,1% від втрат С підстилкою.

Отже, в досліджуваних екосистемах спостерігається збалансованість потоків що формують запас фітодетриту, про що свідчить незначна частка збільшення фітодетриту протягом року від його загальних запасів – 0,97-4,19%. Винятком є екосистема 50-ти річного буково-дубового ялинника (18,40 %). Надалі в екосистемах 30-ти і 45-ти річних деревостанів, в яких запаси сухостою і ламані початкових стадій розкладу є значними, спостерігатиметься збільшення темпів ксилілізу ГДЗ, що, ймовірно, призведе до змін у балансі процесів, які формують запаси фітодетриту за рахунок збільшення потоку С –СО₂.

Таблиця 1.13

Інтенсивність процесів, що формують запас надґрунтового
фітодетриту $t-C-CO_2 \cdot ga^{-1} \cdot рік^{-1}$

Процес	*№ ділянки				
	I	II	III	IV	V
Надходження	2,79	3,73	4,3	3,23	2,8
опад	2,07	2,88	4,11	2,99	2,51
відпад	0,72	0,85	0,19	0,24	0,29
Вивільнення	2,18	2,84	1,91	3,04	2,42
мінералізація підстилки	2,1	2	1,8	2,5	1,7
мінералізація CWD	0,06	0,8	0,07	0,48	0,68
Вимивання CH_2O з підстилки	0,02	0,04	0,04	0,06	0,04
Баланс (доповнення-зменшення)	0,61	0,89	2,39	0,19	0,38
підстилка	-0,05	0,84	2,27	0,43	0,77
CWD	0,67	0,05	0,12	-0,24	-0,39
Баланс, % від Сфітодетриту	4,19	2,86	18,52	0,97	2,27

(назви ділянок подані в табл. 1.2)

1.4. Чиста екосистемна продукція та баланс Карбону

Величина чистої екосистемної продукції (NEP) визначається як різниця інтенсивності процесів продукційної і деструкційних ланок циклу Карбону: $NEP = NPP - Resp$. У кліматосових екосистемах за період декількох десятих років кількість чистої первинної продукції (NPP) переважно дорівнює величині мінералізації органічної речовини. В окремі з цих років, мінералізація може бути меншою чи більшою від продукції, оскільки обидва параметри мають певні флуктуації з року в рік, що пов'язано із коливанням кліматичних факторів, такий режим називають періодичним, а в середньому за період – стаціонарним (Титлянова, Базилевич, Снитко, 1988). Прийнято вважати, що функції депонування Карбону переважно властиві молодим і середньовіковим деревостанам, а стиглі і перестійні по відношенню до Карбону виконують функцію збереження (консервацію), слабо поглинаючи CO_2 , або є «джерелом» вуглекислоти для атмосфери (Ушакова, 2000).

Коолобіг сполук Карбону розглядається як система блоків (компонентів екосистеми), поєднаних потоками речовини (обмінними процесами).

В досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини в основних компонентах лісових екосистем визначено запаси Карбону в фітомасі, фітодетриті,

гумусі ґрунту та потоки внаслідок мінералізації органічної речовини, міграції Карбону з підстилки та верхніх ґрунтових горизонтів, а також фотосинтетичну асиміляцію фітомасою досліджуваних екосистем (NPP), що дозволило побудувати схему балансу Карбону (рис.1.12). Баланс фітодетриту визначали як:

$$\Delta D = L + DM - \text{Resp} (I_4 + I_5 + I_6) + I_8$$

Де ΔD – баланс фітодетриту; L – опад; DM – відпад; Resp – мінералізація компонентів фітодетриту ($I_4 - I_6$) ґрунтового блоку; I_8 – вимивання С з підстилки.

Величину чистої екосистемної продукції розраховували як:

$$NEP = NPP (I_1 + I_2 + I_3) - \text{Resp} (I_4 + I_5 + I_6 + I_7)$$

Встановлено, в екосистемі 30-ти річного ялицево-букового ялинника запас фітомаси становить $95,84 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$, протягом року фітомасою асимілюється $4,73 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$, що становить 4,9 % від її запасу. Частка деревного ярусу (I_1) в NPP становить 98,7%, що відповідає $4,67 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$. Кількість Карбону, що переходить з блоку «фітомаса» до блоку «ґрунт» характеризує величину опадів і відпаду, його величина протягом року становить $2,44$ і $0,72 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$ відповідно.

Із загальних запасів фітодетриту ($15,84 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$) впродовж року вивільняється $2,87 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$ (рис.1.13) з якого підстилкою мінералізується 73,4%. Загалом запас фітодетриту протягом року збільшується на 1,8% від його загального запасу, що дозволяє твердити про збалансованість процесів, що формують його запас. Величина виділення $\text{C}\text{-CO}_2$ в процесі мінералізації гумусових сполук становить $1,5 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$. Загалом сумарний мінералізаційний потік екосистеми (Resp) становить

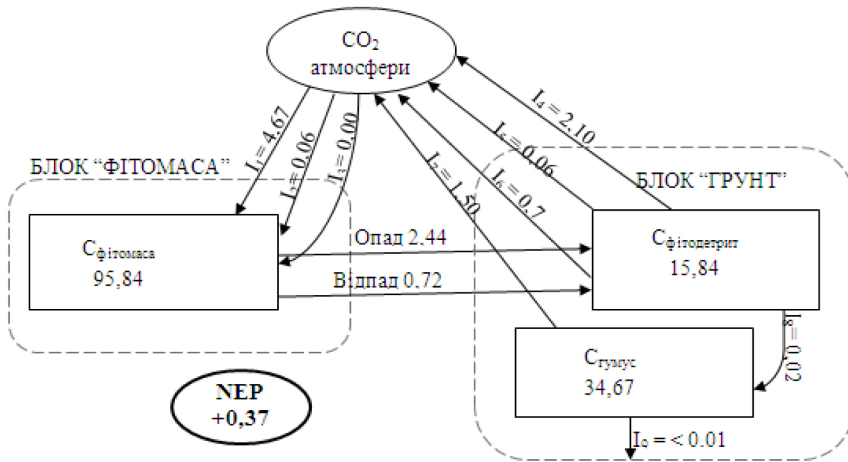


Рис.1.12. Баланс Карбону в лісовій екосистемі 30-ти річного ялицево-букового ялинника $\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$

$NPP = I_1 + I_2 + I_3$; I_1 - NPP деревного ярусу; I_2 - NPP підросту; I_3 - NPP трав'яночагарничкового ярусу; $\text{Resp} = I_4 + I_5 + I_6 + I_7$; I_4 - Resp підстилки; I_5 - Resp CWD; I_6 - Resp кореневого детриту; I_7 - Resp ґрунтового гумусу; I_8 - вимивання Карбону з підстилки; I_9 - вимивання Карбону з 0-20см ґрунту;

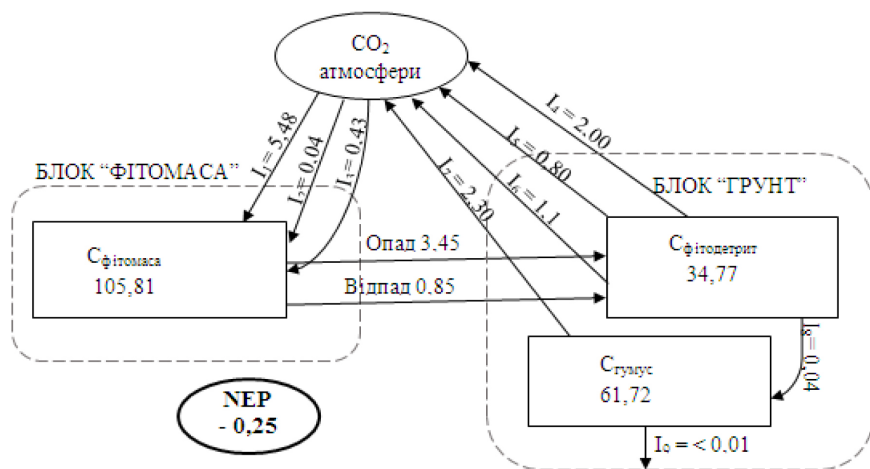


Рис.1.13. Баланс Карбону в лісовій екосистемі 45-ти річного букового ялинника $t\cdot C\cdot ga^{-1}\cdot рік^{-1}$ (умовні назви на рис. 1.12)

4,36 $t\cdot C\cdot CO_2\cdot ga^{-1}$, а в процесі фотосинтезу фіксується 4,72 $t\cdot C\cdot ga^{-1}$, тобто екосистема 30-ти річного ялицево-букового ялинника є стоком для 0,37 $t\cdot C\cdot CO_2\cdot ga^{-1}$ атмосфери, що становить 9% від приросту фітомаси екосистеми.

Екосистема 45-ти річного букового ялинника порівняно із попередньою екосистемою характеризується як більшими запасами Карбону у блоках, так і інтенсивнішими його потоками (рис.1.13). В блоці «фітомаса» пул Карбону становить 105,81 $t\cdot C\cdot ga^{-1}$, внаслідок фотосинтегичної асиміляції протягом року в ньому накопичується 5,95 $t\cdot C\cdot ga^{-1}$ з якого деревний ярус - 92%, трав'яно-чагарничковий ярус - 7,2%. Частка фітодетриту, яка надходить протягом року в ґрунтовий блок становить 4,3 $t\cdot C\cdot ga^{-1}$, протягом року величина зменшення його запасів внаслідок мінералізації і вимивання становить 3,94 $t\cdot C\cdot ga^{-1}$. Отже протягом року фітодетрит екосистеми збільшується на 1,0% від його загальних запасів. Мінералізація Карбону гумусових сполук призвела до потоку $C\cdot CO_2$ в кількості 2,3 $t\cdot C\cdot ga^{-1}$, що разом із мінералізацією фітодетриту формує потік Карбону, який перевищує NPP на 0,25 $t\cdot C\cdot ga^{-1}$. Однією із причин від'ємної NEP є великі запаси CWD, котрі в процесі мінералізації продукують додатково 1,1 $t\cdot C\cdot ga^{-1}$

Інше співвідношення запасів і продукційно-деструкційних процесів виявлене в екосистемі 50-ти річного буково-дубового ялинника (рис. 1.14). За загальної фітомаси 115,87 $t\cdot C\cdot ga^{-1}$ величина NPP становить 6,29 $t\cdot C\cdot ga^{-1}\cdot рік^{-1}$, основна її частина припадає на деревостан 91,8%, частка підросту і трав'яно-чагарничкового ярусу становить відповідно 0,5; 7,7%. В досліджуваній екосистемі протягом року формується найбільша кількість фітодетриту 4,96 $t\cdot C\cdot ga^{-1}\cdot рік^{-1}$, а кількість його втрат в наслідок мінералізації сягає 3,49 $t\cdot C\cdot ga^{-1}\cdot рік^{-1}$ в результаті цього протягом

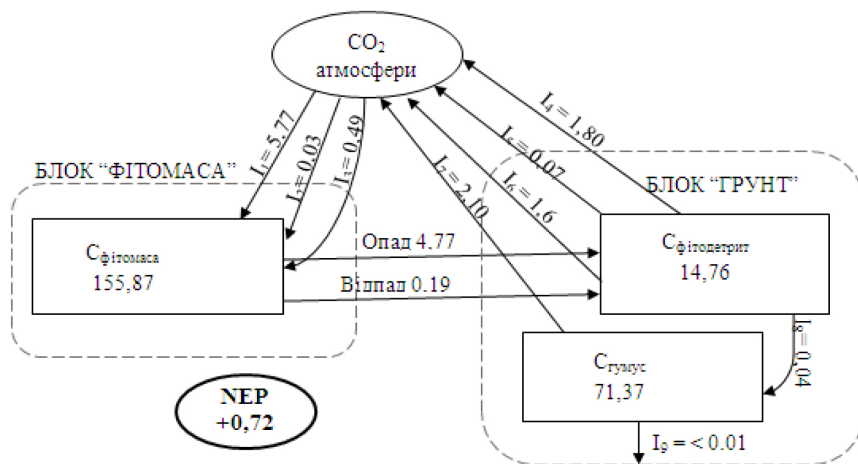


Рис.1.14. Баланс Карбону в лісовій екосистемі 50-ти річного буково-дубового ялинника т·С·га⁻¹·рік⁻¹ (умовні назви на рис. 1.12)

року накопичується 9,8% від його загального запасу, основною причиною такого зростання, є значна кількість опад дуба, та його уповільнені процеси біодеструкції. З врахуванням мінералізації гумусових сполук ґрунту (2,1 т·С·га⁻¹·рік⁻¹) сумарний річний мінералізаційний потік формує 5,56 т·С·га⁻¹·рік⁻¹. Отже, 50-ти річний буково-дубовий ялиничник функціонує, як стік Карбону з атмосфери. Чиста екосистемна продукція серед досліджуваних екосистем є найбільшою - 0,72 т·С·CO₂·га⁻¹, що еквівалентно 12% від NPP. Це насамперед пов'язано з уповільненими процесами розкладу підстилки.

Найбільшою інтенсивністю та збалансованістю процесів, що формують NPP і Resp характеризується екосистема 70-тирічного ялицевого-ялинника (рис.1.15). Запас фітомаси становить 137,04 т·С·га⁻¹ нею протягом року асимілюється 7,12 т·С·га⁻¹·рік⁻¹, з якого на деревостан припадає 89% на підріст і трав'яночагарничковий ярус відповідно 2,8; 8,2%. Величина опад та відпад яка формується протягом року становить 3,69 т·С·га⁻¹, протягом року кількість фітодетриту, що мінералізується і вимивається з шару підстилки становить 4,34 т·С·га⁻¹·рік⁻¹, в результаті чого протягом року в екосистемі зменшується запас фітодетриту на 2,6 % від його загального запасу. Величина мінералізації гумусових сполук ґрунту становить 2,7 т·С·га⁻¹·рік⁻¹, що разом із мінералізацією фітодетриту утворює потік Resp = 6,95 т·С·га⁻¹·рік⁻¹. Отже, екосистема 70-ти річного ялицевого-ялинника накопичує 0,17 т·С·га⁻¹·рік⁻¹ Карбону протягом року.

У 110-ти річному буково-ялиновому ялиничнику величина NPP відповідає 5,44 т·С·га⁻¹·рік (рис.1.16), деревний ярус асимілює 86,8 %, підріст і трав'яночагарничковий ярус відповідно 3,3; 9,9 %. Величина Resp = 5.68 т·С·га⁻¹·рік, основна частина потоку С·CO₂ припадає на ґрунт 38,7% і підстилку 29,9%,

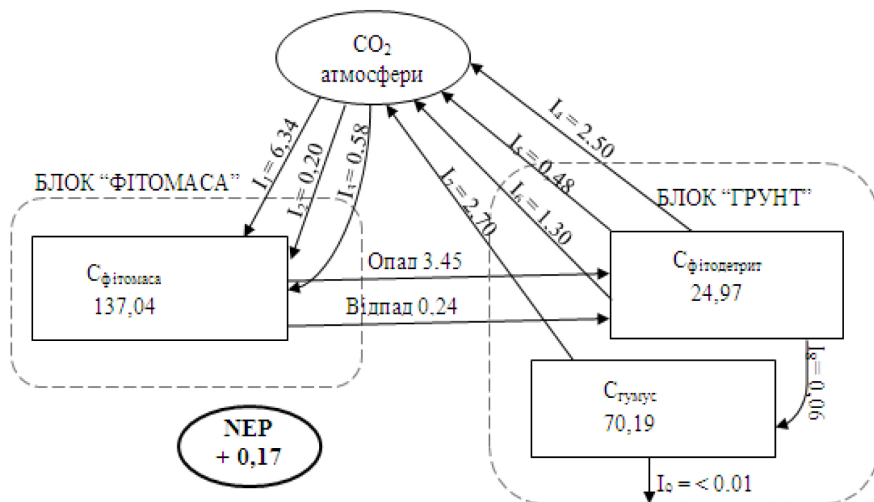


Рис.1.15. Баланс Карбону в лісовій екосистемі 70-ти річного ялицевого-ялиничка т·С·га⁻¹·рік⁻¹ (умвні назви на рис. 1.12)

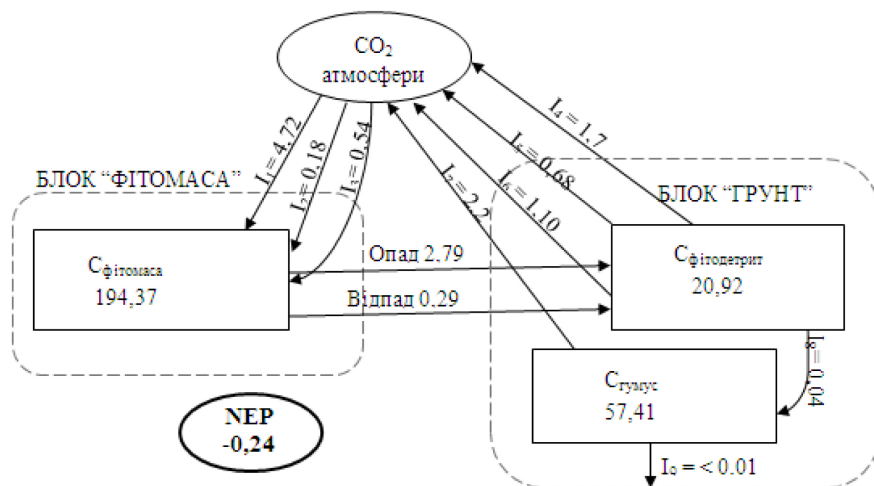


Рис.1.16. Баланс Карбону в лісовій екосистемі 110-ти річного буково-ялинового яличника т·С·га⁻¹·рік⁻¹ (умвні назви на рис. 1.12)

ґрунтовим фітодетритом і CWD продукується відповідно 19,4; 12%. В результаті меншої величини NPP від Resp величина чистої екосистемної продукції становить $-0,24$ т·С·га⁻¹·рік, це зумовлено менш ефективною фотосинтетичною асиміляцією стиглих угруповань, яка проявляється у частці річного приросту деревостану (2,5%) від його загальних запасів. Протягом року надходить

з опадом і відпадом $3,08 \text{ т} \cdot \text{С} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}$, його втрати становлять $3,5 \text{ т} \cdot \text{С} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$, таким чином протягом року екосистема втрачає 2% фітодетриту від його загальних запасів.

Отже, досліджувані лісові екосистеми Стрийсько-Сянської Верховини на сучасному етапі функціонування характеризуються збалансованістю процесів NPP і Resp, про що свідчать незначні величини NEP. Із збільшенням віку деревостанів частка NPP деревного ярусу зменшується з 98,7 у 30-ти річному ялицево-буковому ялиннику до 86,8% у 110-ти річному буково-ялиновому яличнику, що зумовлене як зменшенням ефективності фотосинтетичної асиміляції стиглих деревостанів, так і збільшенням частки NPP нижніх ярусів. Також у всіх екосистемах збалансованим є процеси, що формують запас фітодетриту. Винятком є екосистема 50-ти річного буково-дубового ялинника. Величина Карбону перколяційних вод, що виносяться за межі 20 см шару ґрунту є незначною $< 0,01 \text{ т} \cdot \text{С} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$.

Розділ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Природні умови на території РЛП «Надсянський»

Регіональний ландшафтний парк «Надсянський» (надалі РЛП або Парк) створений на площі 19420 га згідно з рішенням Львівської обласної ради від 31.07.1997 р. № 209 «Про створення регіонального ландшафтного парку «Надсянський». Парк створено з метою збереження в природному стані лісових комплексів, унікальних природних ландшафтів Східних Карпат, а також забезпечення умов для організованого відпочинку населення. Практично вся територія Парку (98%) розміщена в межах Боринської територіальної громади (надалі ТГ) і лишень близько 2% площі – це землі Турківської ТГ Самбірського району Львівської області (до нового адміністративного поділу 2020 р. с.Дністрик Дубовий входило до складу Боберківської сільської ради Турківського району Львівської області, яка цілковито входила до контуру РЛП). До парку належать землі, землекористувачами яких є державні та комунальні лісгосподарські підприємства, а також землі населених пунктів Боринської і Турківської ТГ. В 2019 р. після створення НПП «Бойківщина» частина земель РЛП (4498 га або 23% від загальної площі) увійшла до складу цієї природоохоронної установи.

Ідея створення РЛП на території Турківського району у верхів'ях ріки Сян почала набирати розвитку на початку 90-х рр. минулого століття після створення польсько-словацького міжнародного резервату біосфери «Східні Карпати» (надалі – МРБ), до складу якого в 1992 р. увійшли 4 природоохоронні структури: одна в Словаччині – національний парк «Полонини» та три в Польщі – Бещадський національний парк та 2 регіональних парки – Ціснянсько-Ветлінський та Долини Сяну (*Niewiadomski, Maryskeyvych, Perzanowski, 2013*). З української сторони до складу МРБ «Східні Карпати» також входить Ужанський НПП загальною площею 46147 га. РЛП безпосередньо межує з Ужанським НПП, а також з Бещадським ПН і регіональним парком Долина Сяну в Польщі.

Освоєння долини Верхнього Сяну шляхом заснування населених пунктів розпочалося в другій половині XV-XVI ст. До того часу ця територія була

практично цілковито вкрита первинними ялиново-ялицево-буковими лісами, залишки яких збереглися поблизу с.Боберка на схилах г.Балита та гідрофільними луками і верховими болотами в заплаві та на першій терасі Сяну, які займали дуже незначний відсоток площі. Використання підсічно-вогневої системи землеробства, а також зведення лісів для потреб будівництва й облаштування побуту населення протягом XVII-XVIII ст. (*Kubijowicz, 1926*), призвели до незначного зниження лісистості території й практично не вплинули на видовий склад деревостанів, про що свідчать описи цієї території, зроблені під час першого картування Галичини в 1778-1783 рр. (*Galicja na józefińskiej mapie topograficznej...*, 2014). Проте уже на кінець XIX ст. внаслідок зростання попиту на деревину, лісистість долини Верхнього Сяну значно знизилася: біля витоків річки вона становила 63-68% (Сянки, Беньова), тоді як в районах інтенсивного лісокористування (Соколики, Лікоть) цей показник знаходився в межах 26-31%. Загалом, протягом другої половини XIX ст. лісистість цієї території знизилася від 62 до 48% (*Marcinek, 2001*).

Після Другої світової війни внаслідок проведення протягом 1947-1951 рр. акцій «Вісла» «Захід» та «Н-Т», практично все населення долини Верхнього Сяну (понад 10 тис. осіб) було виселене, а землі були націоналізовані й передані в управління державним лісовим господарствам і колективним господарствам як в Польщі, так і в Україні (*Skala, Wolski, 2016; Niewiadomski, Maryskevych, Perzanowski, 2013*). На колишній ріллі в долині Верхнього Сяну по обидва боки кордону розпочалися природні процеси регенерації рослинного покриву, в тому числі й часткового залісення. Свідченням рільничого використання цих земель в минулому є фруктові дерева, які збереглися до цього часу в долині Верхнього Сяну (*Марискевич, Шпаківська, Данилюк та ін., 2020; Korzeniak, Kucharzyk, 2016*). На відміну від польської частини МРБ «Східні Карпати», долина Верхнього Сяну в Україні до початку 90-х років минулого століття активно використовувалася як пасовища й сінокоси.

За фізико-географічним поділом Українських Карпат РЛП розташований в межах Сянського ландшафту Опір-Сянського району Міжгірно-верховинської області (*Мельник, 1999*). На території Парку виділено чотири ландшафтних місцевості: 1) крутосхилого ерозійно-денудаційного лісного низькогір'я, 2) спадисто- і крутосхилого лісного і вторинно-лучного низькогір'я, 3) спадистосхилого вторинно-лучного придолинного низькогір'я та 4) терасованих широких долин річок (*Брусак, Кричевська, 2019*).

Гідрологічною особливістю території РЛП є те, що його водотоки належать до водозборів Балтійського та Чорного морів. Басейн річки Сян, що охоплює практично всю територію Парку вздовж західного кордону, належить до басейну Балтійського моря, а річки, що належать до сточища Стрия, належить до басейну Чорного моря. Через територію парку проходить Головний європейський вододіл, що простягається від Ужоцького перевалу (околиці м. Сянки) у напрямку на північний захід хребтами Бучок і Сянський і далі на північ РЛП, а поблизу с. Бобер-

ка в межах неіснуючого села Журавин (зараз – територія прикордонної застави) вододіл у північно-західному напрямку перетинає українсько-польський кордон. Вагоміше природоохоронне значення для Парку відіграє басейн р. Сян, як річки порядкоформуючого регіонального значення.

Під впливом радіаційних і циркуляційних процесів та рельєфу на території Парку формується помірно-континентальний клімат із нежарким літом, м'якою зимою, теплою осінню та надлишковим і достатнім зволоженням (Андріанов, 1968). За даними метеостанцій, середньорічна температура повітря коливається у межах +5,2 – +7,0°C. Розподіл температур визначається висотою над рівнем моря, експозицією місцевості та формами рельєфу. За останні 60 років абсолютний максимум температури повітря становив +33°C, абсолютний мінімум –39°C. Тривалість періоду із середньою добовою температурою повітря понад 0°C (теплій період) становить 249–267 днів; загального періоду вегетації – 188–209, періоду активної вегетації – 131–153 дні. Середня тривалість безморозного періоду – менша ніж 120 днів, перший заморозок спостерігається в останній декаді вересня – першій декаді жовтня. Сума активних температур (понад +10°C) коливається у межах 1600–2200°, а величина гідротермічного коефіцієнта (ГТК) становить 2,5 (Природа..., 1972). Згідно зі схемою кліматичного районування Українських Карпат (Андріанов, 1968), територія Парку району належать до трьох термічних зон: помірної, прохолодної та помірно-холодної. Це впливає на формування ценотичної структури природної рослинності та визначає умови ведення сільського господарства.

Ґрунтоутворення у Східних Карпатах відбувається за буроземним типом, тому панівними є бурі лісові та дерново-буроземні ґрунти. В структурі ґрунтового покриву Парку незначні площі займають лучно-буроземні, гірські оторфовані ґрунти (Андрущенко, 1958).

Бурі лісові ґрунти, які сформувалися на схилах різної крутизни та експозиції під буковими, ялицевими, ялиновими та мішаними лісами, займають основну площу Парку. Залежно від інтенсивності поверхневого стоку, внутрішньої дренажності, форм рельєфу та висоти над рівнем моря, бурі лісові ґрунти мають різну глибину профілю і різний ступінь вилугованості та щепенюватості, а тому поділяються на глибокі, середньоглибокі та неглибокі, що має важливе значення для функціонування лісових екосистем. До групи особливо цінних ґрунтів у межах РЛП зараховуються торфовища та гірські торфуваті ґрунти. Торфовища займають малі площі, вони локалізовані вздовж верхньої течії Сяну. Переважно за лінією інженерних споруд і потребують вивчення. Торфові ґрунти належать до типу верхових сфагнових. Потужність їхнього торфового горизонту сягає 4,50 м в урочищі Мішок поблизу Боберки.

У флорогеографічному контексті територія Парку знаходиться в Карпатській підпровінції Центральноєвропейської провінції Циркумбореальної області Бореального підцарства Голарктичного царства. Відповідно до схеми регіонального фітogeографічного поділу Карпат (Тасенкевич, 2004), Парк локалізований в меж-

ах одного району Східнобескидського округу сектору Східних Карпат – Сянсько-Верхньодністерських Бескидів. За наявними даними, флора судинних рослин Парку нараховує 645 таксонів, що становить близько 31% флори Українських Карпат, види вищих судинних рослин належать до 97 родин та 5 відділів (Данилюк, 2012). У флорі Парку на частку судинних спорових та голонасінних припадає лише близько 4% (26 видів), найбільша кількість видів та підвидів належить до покритонасінних – 96% (599 таксонів), з яких на дводольні припадає 73% (457 види), а на однодольні – 23% (142 види). Таке відсоткове співвідношення між вищими таксономічними одиницями близьке до аналогічних показників флори Українських Карпат загалом (Тасенкевич, 2003).

Созологічний аналіз наявних даних про флору Парку показав, що на цій території трапляється 63 раритетних види, які охороняються на різних рівнях: 32 види – занесено до Червоної книги України (Атлас..., 2012), 33 види – підлягають регіональній охороні у Львівській області (Тасенкевич, Калінович, Сорока..., 2015). Найширше представлена серед раритетних родин родина *Orchidaceae* – 15 видів. До «Конвенції про міжнародну торгівлю видами дикої фауни та флори, що перебувають під загрозою зникнення», Додаток II включено 16 видів флори парку: усі представники родини *Orchidaceae* та представник родини *Amaryllidaceae* – *Galanthus nivalis*. Видів, внесених до інших міжнародних охоронних списків, у флорі Парку поки що не виявлено.

За геоботаничним районуванням, РЛП приурочений до Боринсько-Славського (Бескидського) району ялиново-ялицево-букових і ялицево-букових лісів Карпатського (Рахівсько-Турківсько-Берегометського) геоботанічного округу букових лісів Східнокарпатської гірської підпровінції Центральноєвропейської провінції Європейської широколистяної області (Геоботанічне..., 1977). Лісові землі в РЛП займають понад 40% площі. За домінування штучно створених середньовікових деревостанів з домінуванням ялини європейської, збереглися умовно корінні букові та хвойні ліси за участю ялини і ялиці білої.

Серед лісової рослинності флористично найбагатшими є угруповання із класу *Quercus-Fagetum* Br.-Bl. et Vlieg. 1937., представлений порядком *Fagetalia sylvaticae* Pawł. in Pawł., Sokoł. et Wall. 1928, який об'єднує європейські листопадні широколистяні ліси. Основний домініант деревного ярусу – *Fagus sylvatica*, часто трапляються *Acer pseudoplatanus*, *Abies alba*, *Picea abies*. Трав'яний покрив формують неморальні види. В РЛП до складу порядку *Fagetalia* входять союзи *Alno-Ulmion* Br.-Bl. et R.Tx. 1943 та *Fagion sylvaticae* R.Tx. et Diem. У Парку союзу *Alno-Ulmion* представлений на незначних площах сіро- та чорновільшняками (незначні площі вздовж рік). Найпоширенішими на досліджуваній природоохоронній території є угруповання справжньої карпатської бучини *Dentario glandulosae-Fagetum* із союзу *Fagion sylvaticae*.

Хвойні європейські ліси, у яких переважає бореальна флора входять до класу *Vaccinio-Piceetum* Br.-Bl. (Яблунське лісництво: кв. 1-7, 10-23 та інші) У РЛП сюди належать природні темнохвойні ліси із смереки та ялиці, а також смерекові і яли-

цеві монокультури. Представлений асоціацією *Abieti-Piceetum* із порядку *Vaccinio-Piceetalia* Br.-Bl. 1939, союзу *Piceion abietis* Pawł. et all. 1928. Характерні види угруповань класу: *Vaccinium myrtillus*, *Lycopodium annotinum*, *Homogyne alpina*, *Majanthemum bifolium*, *Sorbus aucuparia* та ін.

Особливу увагу слід приділити рослинному покриву боліт, зокрема, фітоценотичним одиницям, що представляють класи *Oxycocco-Sphagnetea* Br.-Bl. et R. Tx. 1943 та *Scheuchzerio-Caricetea nigrae* (Nordh. 1937) R. Tx. 1937. У парку до угруповань цього класу приурочено два види, занесених до Червоної книги України (2021) – *Dactylorhiza maculata* та *Vaccinium microcarpum*, а також низка реліктових видів: *Andromeda polifolia*, *Drosera rotundifolia*, *Ledum palustre*, *Vaccinium oxycoccus*. Торфовища в межах РЛП займають малі площі, проте мають вагомому созологічну цінність, що й призвело до надання торфовищу в урочищі Мішок статусу Рамсарського угіддя в 2019 р.

На території Парку встановлено 6 рослинних формацій, які внесені до Зеленої книги України (2009): угруповання букових лісів (*Fageta sylvaticae*) з домінуванням у травостой лунарії оживаючої (*Lunaria rediviva*) – спорадично в Верхньоскопському лісництві; угруповання букових лісів (*Fageta sylvaticae*) з домінуванням у травостой скополії карніолійської (*Scopolia carniolica*) – спорадично в Верхньовисоцькому лісництві; угруповання субформації звичайногородиново-душекієвої (*Sorbeto (aucupariae)* – *Duschekieta (viridis)*) – спорадично в Яблунському лісництві (г.Балита); угруповання формації осоки вологистої (*Cariceta paniculatae*) – спорадично в Верхньоскопському лісництві (хребет Бучок); угруповання формації пригніченоялиново-сфагнової (*Sphagneta depressicetosa*) – локально в Яблунському лісництві (урочище Мішок); угруповання формації шейхеріцеево-сфагнової (*Scheuchzerieto (palustris)* – *Sphagneta*), осоково-шйхцершево-сфагнової (*Cariceto-Scheuchzerieto (palustris)* – *Sphagneta*) – локально в Яблунському лісництві (урочище Мішок).

Територія Парку в зоогеографічному відношенні належить до Європейсько-Західносибірської лісової провінції, Центральноєвропейського округу, Карпатського району, а саме – його східно-передгірної та гірсько-лісової ділянок. Як вже було зазначено вище, корінний рослинний покрив території був сформований чистими буковими і мішаними ялицево-буковими лісами за участі ялини. Сьогодні тут значні площі займають монокультурні смечечники, луки та орні угіддя, створені на місці корінних лісостанів. Це, а також наявність екотонального ефекту на межі різних фізико-географічних та геоботанічних районів, зумовило порівняно значне багатство фауни цієї території.

Видове різноманіття дослідженої фауни Парку, згідно з літературними даними і результатами польових досліджень, нараховує: 40 видів ссавців, які належать до 6 рядів; птахів – 110 видів, які належать до 14 рядів; плазунів – 5 видів, які належать до 1 ряду; земноводних – 9 видів, які належать до 2 рядів, 20 видів риб, які належать до 7 родин, 825 видів комах зі 104 родин, 18 рядів, 5 класів і 2 типів (*Марискевич, Шпаківська, Данилюк та ін., 2020*).

Таксономічний список безхребетних, виявлених до цього часу на території РЛП налічує 825 видів зі 104 родин, 18 рядів, 5 класів і 2 типів. Переважна більшість зареєстрованих у РЛП таксонів безхребетних тварин відносяться до класу комах (Insecta), яких разом 816 видів. У свою чергу, серед них найбільше – 577 видів належать до ряду лускокрилі (Lepidoptera), що пов'язано, насамперед, зі значно кращим рівнем їх вивченості, порівняно з іншими. Загалом, на території Парку зареєстровано 47 видів безхребетних тварин, що знаходяться під охороною на глобальному, національному та регіональному рівнях. Серед них 11 видів включені до Червоного списку МСОП, як глобально загрожені (IUCN, 2021); 7 видів включені до Додатку II, а 9 – до Резолюції 6 Бернської конвенції; 26 видів – занесені до Червоної книги України (Перелік..., 2021); а 42 – до Червоної книги Українських Карпат (2011).

Із ссавців на території Парку поширені 40 видів (представників 6-ти рядів), що становить майже третину видів ссавців фауни України. До цього часу тут виявлено 3 види комахоїдних, 7 – рукокрилих, 1 – зайцеподібних, 11 – гризунів, 14 – хижих, 4 – ратичних. 14 видів ссавців занесені до Червоної книги України (2009), серед яких 50% - це рукокрилі, а також ведмідь бурий, рись, видра, горностаї, тхір лісовий, кіт лісовий та зубр європейський. 27 видів ссавців занесені до Додатків Бернської конвенції, 7 – Боннської конвенції, 17 – Директиви щодо збереження біотопів, флори та фауни Європи і 3 види - до списку МСОП.

На території Парку до цього часу виявлено 110 видів птахів, що належать до 14 рядів (лелекоподібні *Ciconiiformes*, гусеподібні *Anseriformes*, соколоподібні *Falconiformes*, куроподібні *Galliformes*, журавлеподібні *Gruiformes*, сивкоподібні *Charadriiformes*, голубоподібні *Columbiformes*, зозулеподібні *Cuculiformes*, совоподібні *Strigiformes*, дрімлюгоподібні *Caprimulgiformes*, стригоподібні *Apiformes*, одудоподібні *Upupiformes*, дятлоподібні *Piciformes*, горобцеподібні *Passeriformes*), з яких близько 90 видів належать до гніздових чи ймовірно гніздових, а інші – до залітних, пролітних чи зимуючих. Найбагатшими у видовому відношенні є ряди горобцеподібних – 65 видів і соколоподібних – 11. Також тут спостерігається низка перелітних видів птахів, що пролітають через територію в час весняної або осінньої міграції, а також кілька видів, які тут лише зимують.

8 видів птахів з території Парку включені до Червоної книги України (2009, Атлас..., 2012), що становить майже 9% усіх червонокнижних видів птахів і понад 6% видового складу орнітофауни регіону. У списках МСОП (високі охоронні категорії) з фауни птахів регіону значиться 1 вид: до категорії NT (близький до загрозового) – кібчик *Falco vespertinus*. Також загалом 103 види занесені до списків Бернської конвенції, з них 69 видів – до Додатку II. Згідно з класифікацією Видів Європейської Природоохоронної Значимості (Species of European Conservation Concern, SPECS), до категорії SPEC 1 занесений 1 вид (деркач), SPEC 2 – 3 види (лелека білий, горихвістка звичайна *Phoenicurus phoenicurus*), SPEC 3 – 15 видів. У додатках Пташиної Директиви наведено 45 видів і Боннської Конвенції – 39 видів птахів орнітофауни цієї території.

2.2. Характеристика дослідного полігону «Яблунське лісництво»

Дослідження проводились в межах Яблунського лісництва РЛП «Надсянський», частина якого в 2019 р. увійшла до складу земель з вилученням новоствореного НПП «Бойківщина» (квартали 8, 9, 10-24), тоді як квартали 1-7, які до 2022 р. були підпорядковані ДП «Боринське лісове господарство», зараз входять до складу надлісництва Турка «ДП Самбірське лісове господарство». В межах лісництва було закладено 25 дослідних ділянок (Табл.2.1, Рис.2.1).

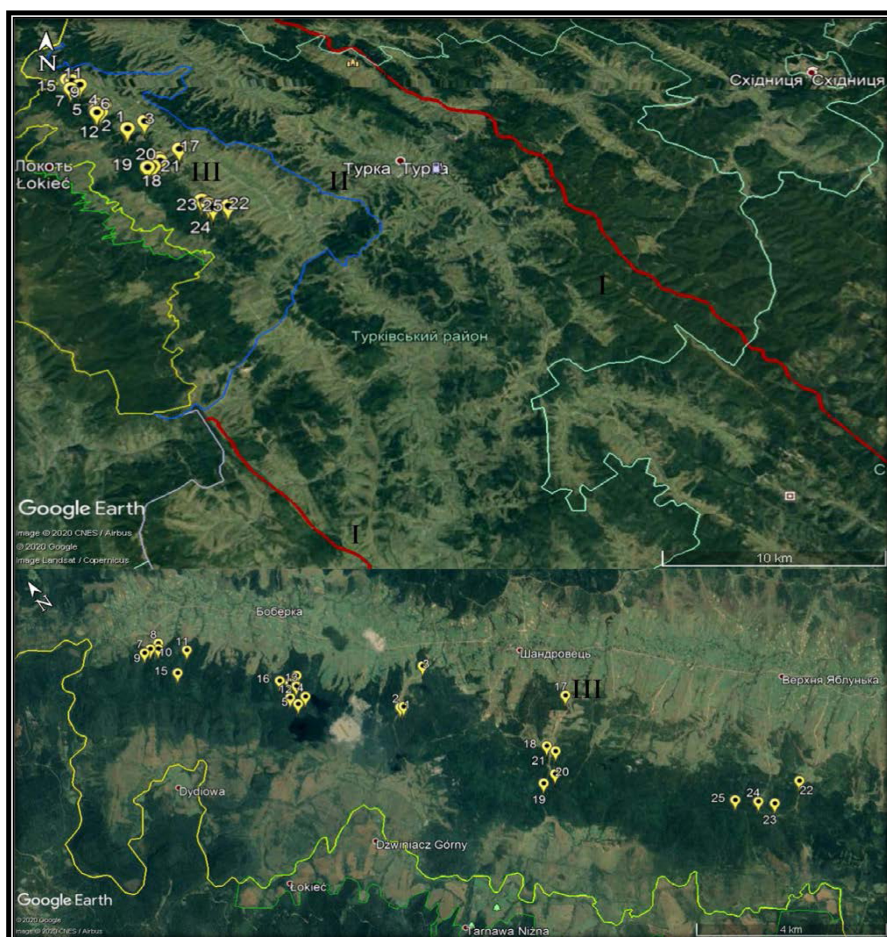


Рис. 2.1. Локалізація дослідних ділянок на території Яблунського лісництва (I – межі Стрийсько-Сянської Верховини; II – межі РЛП «Надсянський»; III – розташування і номер дослідної ділянки)

Таблиця 2.1

Коротка характеристика та локалізація дослідних ділянок
у Яблунському лісництві (РЛП «Надсянський»)

№ дослідної ділянки	Квартал/виділ	Формула деревостану/повнота	Вік деревостану, років	Координати	Експозиція, крутизна схилу, висота н.р.м.
1	2	3	4	5	6
1	11/5	10Ял/0,6	40	49°10'8.20"Пн. ш. 22°48'49.60"Сх. д.	південно-західна, 3-7°, 704 м
2	11/5	8Яле2Яц/0,7	46	49°10'8.90"Пн. ш. 22°48'46.20"Сх. д.	південно-західна, 3-7°, 713 м
3	11/3	10Яц/0,8	43	49°10'27.81"Пн. ш. 22°49'32.10"Сх. д.	південно-східна, 3-7°, 696 м
4	6/6.1	8Яц1Ял1Бк/0,6	70	49°10'50.30"Пн. ш. 22°47'27.70"Сх. д.	північно-західна, 10-15°, 820 м
5	7/12	9Яц1Яле/0,7	70	49°10'48.20"Пн. д. 22°47'16.60"Сх. д.	північно-східна, 5-17°, 801 м
6	5/9	9Яц1Бк/0,6	82	49°11'5.20"Пн. д. 22°47'21.80"Сх. ш.	північна, 0-7°, 753 м
7	1/27	8Яц2Бк/0,5	103	49°12'20.30"Пн. ш. 22°45'27.43"Сх. д.	північно-західна, 12-17°, 659 м
8	2/2	9Яле1Бк/0,6	27	49°12'21.95"Пн. ш. 22°45'45.69"Сх. д.	північна, 3-7°, 639 м
9	1/25	10Яц/0,9	30	49°12'20.87"Пн. ш. 22°45'35.17"Сх. д.	північна, 2-7°, 661 м
10	2/13	7Яц3Бк+1Яв/0,8	30	49°12'18.18"Пн. ш. 22°45'42.45"Сх. д.	північно-східна, 11°, 648 м
11	3/2	10Яц/0,6	27	49°12'6.29"Пн. ш. 22°46'7.70"Сх. д.	північно-західна, 15-20°, 648 м
12	7/5	9Яле1Бк/0,9	40	49°10'55.22"Пн. ш. 22°47'13.14"Сх. д.	північно-східна, 2°, 786 м
13	5/15	5Яц4Яле 1Бк+1Яв/0,9	45	49°11'0.88"Пн. ш. 22°47'25.55"Сх. д.	південно-західна, 4-8°, 793 м
14	5/4	6Яц3См1Бк/0,7	34	49°11'8.00"Пн. ш. 22°47'32.10"Сх. д.	північно-західна, 12-15°, 720 м

Прод. табл. 2.1

1	2	3	4	5	6
15	3/12	8Бк1Яцк/0,7	73	49°11'53.59"Пн. ш. 22°45'46.25"Сх. д.	північна, 5-10°, 754 м
16	4/16	6Яц4Бк/0,8	41	49°11'10.68"Пн. ш. 22°47'13.80"Сх. д.	східна, 3- 5°, 726 м
17	14/25	10Яц/0,7	23	49° 9'15.47"Пн. ш. 22°51'22.13"Сх. д.	північна, 0-1°, 748 м
18	16/15	8Яц2Яле/0,8	51	49° 8'49.95"Пн. ш. 22°50'33.18"Сх. д.	західна, 15- 20°, 795 м
19	16/14	5Яц5 Яле/0,7	28	49° 8'27.27"Пн. ш. 22°50'7.34"Сх. д.	південно- західна, 5-7°, 773 м
20	18/2	10Яц/0,5	20	49° 8'29.11"Пн. ш. 22°50'22.97"Сх. д.	південна, 1-7°, 830 м
21	17/26	6Яц4Яле/0,5	15	49° 8'49.90"Пн. ш. 22°50'44.63"Сх. д.	північно-східна, 10-20°, 776 м
22	24/15	10Яцб+Яле/0,5	30	49° 6'55.00»Пн. ш. 22°53'57.10»Сх. д.	північно-східна, 5-8°, 752 м
23	21/15	10Яцб+Яле /0,6	45	49° 6'50.50»Пн. ш. 22°53'19.40»Сх. д.	північно-східна, 5-10°, 852 м
24	20/9	8Яцб2Яле/0,5	23	49° 6'57.70»Пн. ш. 22°53'5.70»Сх. д.	північно- західна, 5-10°, 850 м
25	22/17	7Яцб3Яле/0,7	43	49° 7'7.00»Пн. ш. 22°52'46.50»Сх. д.	південно- східна, 10-15°, 849 м

Яблунське лісництво площею 2498 га в структурі лісових земель РЛП Надсянський займало понад 30% (Данилюк, 2012). За локалізацією в ландшафті Стрийсько-Сянської верховини, воно приурочене до хребтів Червоний Верх і Сянський. За ландшафтною структурою ця територія входить до складу крутосхилого ерозійно-денудаційного лісового низькогір'я, складеного олігоценним тонкоритмічним флішем (з перевагою пісковиків Кросненської світи) внутрішньої Кросненської зони, дренаваної паралельною системою верхів'їв потоків з пануванням субформацій ялицево-букових і букових та вторинних ялинових лісів на бурих лісових неглибоких щербених середньосуглинкових слабозмитих ґрунтах (Брусак, Кричевська, 2019). Максимальні висоти тут сягають до 900 м н.р.м., нижня межа лісу спускається до висоти приблизно 600 м н.р.м.

Зважаючи на те, що нижня межа лісу є значною мірою антропогенного походження, вона спускається в долини на колишні орні землі та сінокоси й пасовища, частина молодих і середньовікових лісів приурочена до дерново-буроземних ґрунтів, які сформувалися внаслідок тривалого антропогенного освоєння долини Верхнього Сяну, яке розпочалося в XVI столітті (Marcinek, 2001).

Загалом за породним складом на території досліджень переважають ліси з участю ялини європейської з усередненим складом деревостану 7Яле2Яц61Бкл. Розподіл лісових площ за панівними породами свідчить, що ліси з переважанням ялини європейської займають 58,83%, ялиці білої – 33,03%, бука лісового – 6,12%, а сосни звичайної – 1,17 %. В межах лісництва незначні площі займають деревостани з переважанням інтродуцентів: модрини – 0,03 % та дуба червоного – 0,02%, а також природні ліси на перезволожених ділянках з переважанням м'яколистяних порід: вільхи сірої – 0,72 % та верби козячої – 0,07 %.

Аналіз деревостанів за віковою структурою засвідчив, що середньовікові ліси займають 52,7% лісових земель, у той час як молодняки – 36,3, пристигаючі – 6,3, а стиглі та перестійні – 4,9 % (в т.ч. перестійні лише 0,26 %). Середній запас стовбурової деревини земель, вкритих лісовою рослинністю є доволі низьким і становить 250 м³ га, тоді як в стиглих та перестійних деревостанах він є вищим і сягає 355 м³ га. За показником середнього віку деревостани у межах території досліджень зараховуються до групи середньовікових (вік деревостанів – 49 років), а за повнотою – до середньоповнотних 70 (Марискевич, 2013). Такі таксаційні показники свідчать про тривале лісокористування на цій території, яке супроводжувалося інтродукцією високопродуктивних та важливих для лісового господарства порід, зокрема таких як модрина та дуб червоний, а також формуванням штучних деревостанів з ялини європейської, що, в свою чергу, зумовило сучасний розподіл вікової структури з істотним переважанням середньовікових насаджень.

Розділ 3. МЕТОДИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Оцінку запасів органічного вуглецю здійснювали для таких компонентів лісових екосистем, як жива надземна та підземна фітомаса деревного ярусу, сухостійні та повалені дерева, піднаметова рослинність (підріст, підлісок і живий надґрунтовий покрив), підстилка та ґрунт. Запаси $C_{\text{орг}}$ розраховували як на основі даних зібраних підчас проведення маршрутних досліджень, так і з використанням матеріалів лісової таксації. Для отримання актуальних результатів щодо запасів органічного вуглецю використовували об'єднання двох підходів.

3.1. Розрахунок запасу органічного Карбону і його часової динаміки у пулі «фітомаса»

Фітомаса є одним з найбільших пулів органічного Карбону в лісових екосистемах. В процесі визначення запасів фітомаси для перерахунку кількості стовбурової деревини у її запасі окремих фракцій (листя (хвоя), гілки, стовбури, корені) застосовують відповідні конверсійні коефіцієнти (Додаток А). Окрім цього, на основі даних лісової таксації можна також розрахувати запаси органічного Карбону в грубих деревних залишках, лісовій підстилці та ґрунті (*Lakida et al., 1996; Лакида та ін. 2011; Букиша, Пастернак, 200; Токар, Король, Шпаківська, Дичкевич, 2014*).

Для оцінки запасів органічного Карбону в фітомасі було використано систему регресійних рівнянь та матеріали останньої статистичної звітності лісовпорядних підприємств для цієї території

За основу розрахунків запасів органічного Карбону в фітомасі було взято методику, наведену в публікації О.Токар зі співавторами в 2014 році *Lakida et al., 1996, Лакида 2002*), в якій використано регресійні співвідношення, що пов'язують запас стовбурної деревини, масу абсолютно сухої речовини надземної, підземної частин деревостану й піднаметову рослинність із запасами вуглецю, а саме: R_f , R_{br} , R_{st} , R_{bl} , R_{us} – конверсійні коефіцієнти таксаційних показників компонентів фітомаси (відповідно для листя/хвої, гілок, стовбура, коріння та піднаметової рослинності), які враховують відношення фітомаси певної фракції в абсолютно

сухому стані до запасу стовбурної деревини деревостану, при цьому для піднаметової рослинності ці коефіцієнти відображають пряму оцінку фітомаси; k_1 , k_2 – конверсійні коефіцієнти, що переводять одиниці абсолютно сухої речовини в одиниці вуглецю і становлять відповідно 0,45 для листя й живого надґрунтового покриву, та 0,49 для хвойних порід (0,47 для листяних) (Токар, ін.2014).

$$R_{v(f)} = a_0 \cdot A^{a_1} \cdot B^{a_2} \cdot \exp(a_3 \cdot A) \quad (2)$$

$$R_{v(0)} = a_0 \cdot A^{a_1} \cdot B^{a_2} \quad (3)$$

$$R_{v(\dots)} = a_0 \cdot A^{a_1} \cdot B^{a_2} \cdot P^{a_3} \cdot \exp(a_4 \cdot A + a_5 \cdot P) \quad (4)$$

$$R_{v(\dots)} = a_0 \cdot B^{a_1 A^{(a_2 + a_3 \cdot P + a_4 \cdot P^2)}} \quad (5)$$

де: A – вік, років B – бонітет, P – відносна повнота, R_v - фракція фітомаси; a_i – коефіцієнти, наведені в Додатку 1.

Як базова одиниця розрахунку, був взятий лісотаксаційний виділ. Отримані дані узагальнювались до рівня лісотаксаційного кварталу і лісогосподарського підприємства загалом. Такий метод розрахунку запасів вуглецю за принципом збору та агрегації інформації має назву „знизу вгору». Він дає більш точні результати, ніж метод „зверху вниз» з використанням узагальнених даних для окремих лісогосподарських підприємств, хоча вимагає більших затрат часу та коштів (Букиша, Пастернак, 2005, Токар та ін., 2014, Лакида, 2002). Зважаючи на значну кількість праць, в яких використовувалися означені вище рівняння і проводилися уточнення деяких коефіцієнтів з метою їх усереднення, можна сказати, що, використовуючи дані рівняння навіть без проведення польових досліджень продуктивності деревостанів, можна отримати достатньо точні результати (Домашовець 2008; Лакида, 2002, Пастернак, 2011, Токар, ін., 2014, Токар, 2015 Токар, Korol, Gusti, 2021, Шпаківська, Марискевич 2009).

Ці рівняння також дають можливість визначити запаси лісової підстилки і органічного Карбону на основі даних про вік і повноту деревостану з застосуванням відповідних коефіцієнтів (Пастернак, 2011).

Для розрахунку втрат $C_{\text{орг}}$ при проведенні лісівничих заходів (рубки пореформування, санітарні рубки) використовували дані лісотаксації про породний склад, вік, повноту та бонітет деревостану, в якому проводили заходи, а з обліку рубок – рік, місце проведення (квартал і виділ) і фактичний об'єм заготовленої стовбурової деревини. Для рубок, які проводилися до 2012 р., використовувалися дані з лісотаксаційних матеріалів 2007 р., а для площ, де проводилися рубки з 2012 по 2016 рр. – з даних уточнення лісотаксації станом на 2012 р. При розрахунках брався фактичний вік деревостану на момент рубки, тобто, якщо рубки проводилися у 2010 р., до віку деревостану з лісотаксаційних матеріалів 2007 р. додавали 3 роки (Львівське ОУЛМГ ДП, 2012, Львівське ОУЛМГ ДП, 2006-2016).

Для площ, на яких проводилися суцільні санітарні рубки, також розраховували втрату потенціалу депонування органічного Карбону. Такий вибір пов'язаний з тим, що саме на таких територіях відбувається суцільне вирубування деревостану, причому вирубується не тільки основна лісогосподарська порода, але і дерева інших порід. Інші способи рубок проводяться в основному для покращення

умов зростання основних лісоутворюючих порід, запобігання поширенню хворіб і шкідників лісу. Такі способи рубок в основному проводяться точково, при цьому основна частина деревостану на даній ділянці залишається.

Для розрахунків втрат потенціалу депонування органічного Карбону використовували значення біотичної продуктивності, розраховані для вторинного біогеоценологічного покриву Турківського району науковцями Інституту екології Карпат НАН України: для чистих і мішаних ялиників вони становили – 7,90 і 8,50 т·га⁻¹·рік⁻¹ відповідно, а у ялицевих лісах цей показник був нижчим – 5,60 т·га⁻¹·рік⁻¹ для чистих яличників та 5,50 т·га⁻¹·рік⁻¹ – для мішаних (Голубець, 2007). Для перерахунку фітомаси у Карбон використали коефіцієнт – 0,5 (Алексеев, Бердси, 1994).

У зв'язку з відсутністю матеріалів лісової таксації станом на 2017 р., що було пов'язано з реорганізаційними процесами у ДП «Боринське ЛГ», які завершилися в 2022 р. (передача 75% земель Яблунського лісництва в постійне користування створеному в 2019 р. НПП «Бойківщина»), для оцінки часової динаміки запасів органічного Карбону використовували дані біотичної продуктивності сучасного біогеоценологічного покриву Турківського (тепер Самбірського) адміністративного району Львівської області. Для оцінки часової динаміки $C_{\text{орг}}$ за період з 2007 до 2017 рр. використовувались дані продуктивності саме вторинного біоценологічного покриву, адже більшість корінних деревостанів були вирубані і замінені на монокультуру ялини європейської, а первинних для цієї території ялицево-букових фітоценозів залишилося надзвичайно мало (Голубець, 2007).

Середньозважений приріст фітомаси для основних типів фітоценозів всіх вікових груп становив – 0,79 і 0,85 кг·м⁻²·рік⁻¹ для мішаних і чистих ялинових лісів. У мішаних деревостанах з переважанням ялиці білої цей показник дорівнював 0,55 кг·м⁻²·рік⁻¹, у чистих яличниках він був практично на такому ж рівні – 0,56 кг·м⁻²·рік⁻¹. У букових деревостанах показники продуктивності знаходяться на рівні 1,14 кг·м⁻²·рік⁻¹ для чистих бучин і 1,08 кг·м⁻²·рік⁻¹ для мішаних. Для виділів, у яких переважають інші породи дерев (м'яколистяні вільха, верба чи береза) показник біотичної продуктивності становив 0,48 кг·м⁻²·рік⁻¹ (Голубець, 2007). Для перерахунку фітомаси в Карбон використовували коефіцієнт 0,50.

Запаси органічного Карбону станом на 2017 і 2027 рр. розраховувалися для кожного окремого лісотаксаційного виділу на основі даних лісової таксації станом на 2007 р., де за матеріалами про породний склад було підібрано значення приросту фітомаси. Також для періоду з 2007 по 2017 рік від отриманих значень віднімалися значення втрат органічного Карбону при проведенні рубок. Кінцева формула для розрахунків приросту фітомаси мала такий вигляд:

$$\text{Пр.}C_{\text{орг.}} = S \cdot 10000 \text{ Пр.} \cdot 0,5 \cdot t / 1000 - C_p \quad (6)$$

де: $\text{Пр.}C_{\text{орг}}$ - приріст органічного Карбону на певному виділі за певний період часу, т·га⁻¹·рік; S - площа виділу в га; Пр - значення приросту фітомаси для певного виділу у кг·м⁻²·рік⁻¹; 0,5 - коефіцієнт перерахунку фітомаси у Карбон; t - період для якого проводились розрахунки у роках; C_p - втрати органічного карбону під час рубань.

Після розрахунку приросту органічного Карбону для певного виділу розраховувався загальний запас накопиченого $C_{\text{орг}}$ на цьому виділі станом на 2017 або 2027 роки за формулою:

$$Зп.C_{\text{орг.}} = Зп.C_{\text{орг.2007}} + Пр.C_{\text{орг.}} (7)$$

де: $Зп.C_{\text{орг.}}$ - запас $C_{\text{орг.}}$ станом на 2017 або 2027 рік, $Зп.C_{\text{орг.2007}}$ - запас $C_{\text{орг.}}$ станом на 2007 рік, $Пр.C_{\text{орг.}}$ - приріст запасу органічного Карбону за період з 2007 р. по 2017 р. або 2027 р.

Недоліком такого підходу, на відміну від використання даних актуальної лісової таксації, є те, що тут територія досліджень на 10 років «переміщується» в часі в ідеальні умови, де деревостан лише росте, не вражається шкідниками чи хворобами, пожежами чи стихійними явищами. Використовуючи дані лісової таксації, можна більш точно оцінити запаси органічного Карбону у біомасі «фітотомаса».

Для проведення дослідження попередньо були створені повидільні форми бази даних в MSExcel, що дозволяла для кожного окремого виділу й території загалом розраховувати запаси органічного карбону в лісових екосистемах.

Використовуючи наведені вище рівняння а також матеріали лісової таксації за 2007 р., її уточнень станом на 01.01.2012 р. і даних щодо проведення лісівничих заходів у Яблунському лісництві за період з 2006 по 2016 рр. включно, було розраховано втрати органічного Карбону під час проведення рубань різними способами.

3.2. Оцінка запасів органічного Карбону у лісовій підстилці, ґрунті і грубих деревних залишках

Для відбору проб лісової підстилки, ґрунту і обліку мертвої деревини було закладено дослідні ділянки розміром 10x10 м площею 0,1 га (Рис.3.1). (Білоус, 2014, Рожак, 2014, Morrissette, Jenkins, Saunders, 2014, Stevens, 1997, Xin-Xiao Yu, Li-Hua Chen, Jian-Zhi Niu and Yu-Tao Zhao, 2009, Russell, Aakala et al., 2015).

Відбір зразків відбувався в період липня-жовтня впродовж 2016-2018 рр. і червня-липня 2020 р. Дослідні ділянки закладалися у лісах різного віку з переважанням для території досліджень породним складом, на схилах різної крутизни і експозиції, а також різної висоти над рівнем моря (Табл.3.1). Місця відбору проб ґрунту і лісової підстилки знаходилися на відстані не менше 1-1,5 м від стовбурів дерев і виступаючих над поверхнею ґрунту елементів їх поверхневої кореневої системи, а також окремих елементів фітодетриту (великих гілок, стовбурів повалених дерев тощо). Такий підхід також використовувався для вибору місць відбору лісової підстилки в межах дослідної ділянки, проте в молодих лісах не завжди вдається дотриматися цієї вимоги (див. рис. 3.1.) (Алексеев, ред. Бердси, ред., 1994, Уткін, Замолодчиков, и др., 1997, Честных О.В., Лыжин В.А., Кокшарова, 2007).

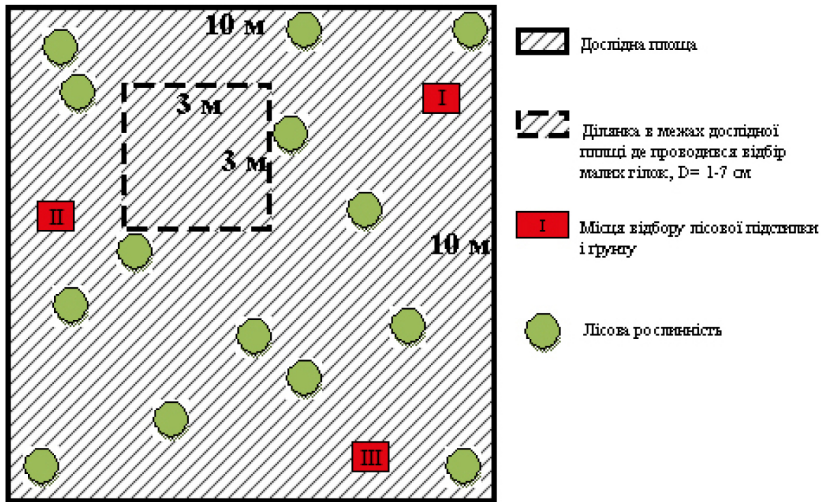


Рис. 3.1. Умовна план-схема дослідної ділянки в лісових екосистемах Стрийсько-Гуцульської Верховини

Відбір ґрунту проводили в 3-разовій повторності на кожній дослідній ділянці з гумусового (Н) і перехідного (Нр) горизонтів. Місця відбору проб попередньо очищалися від шару лісової підстилки.

Підготовка зразків для аналізу відбувалася відповідно до загальних рекомендацій щодо кількісного визначення органічного Карбону: формування середньої проби ґрунтового зразка методом конверта після відбору вручну коренів, дрібних залишків гілок, хвої чи листя, а також дрібного щєбню та рештків органіки за допомогою ебонітової палички (Важенина, 1975).. У наважці ґрунту 0,1-0,5 г, залежно від вмісту органічного Карбону, визначали вміст $C_{\text{орг}}$ методом Нікітіна, який базується на окисненні органічної речовини розчином дихромату калію ($K_2Cr_2O_7$) у сильноокислому середовищі H_2SO_4 при нагріванні проби до $150^\circ C$ у сушильній шафі. Вміст органічного карбону визначали колориметрично шляхом вимірювання оптичної густини зразка при довжині хвилі 590 нм (Никитин, 1983).

Використовуючи програму GoogleEarthPro, і карту ґрунтів Турківського району Голубець, ред., 2007), а також координати дослідних ділянок, було здійснено їхню прив'язку до конкретних ґрунтових відмін (Рис. 3.2, Табл. 3.2).

Для розрахунку запасів органічного Карбону були використані усереднені дані про значення щільності будови ґрунтових горизонтів отримані у попередніх дослідженнях різних авторів (Табл.3.1) (Андрущенко, 1970, Голубець,, 2007, Папнас, 2009, Позняк, ред., 2019, Рожак, 2014)..

Запаси органічного Карбону визначалися для глибини 0-0,25 м і розраховувалися для площі 1 га. Раніше, для цієї території В.Рожаком було встановлено, що на глибині 0,20 м зосереджено понад 60% ґрунтового $C_{\text{орг}}$ (при.?? У різних публікаціях та звітах FAO найчастіше розраховують запаси органічного Карбону для глибини

Таблиця 3.1

Середня щільність будови ґрунту в різних горизонтах
на території дослідження в РЛП «Надсянський»

Назва ґрунту	Середня щільність будови ґрунтових горизонтів, $g\cdot cm^{-3}$				
	Н	Н _p	Н+Ph	Нотрф.	Р
Бурі лісові середньоглибокі щепенюваті	0,82	1,01	0,78	0,54	1,29
Бурі лісові середньоглибокі середньозмиті щепенюваті	1,09	1,17	-	-	-
Бурі лісові середньоглибокі глеюваті щепенюваті	0,95	1,16	-	-	-
Бурі лісові опідзолені середньо- глибокі глеюваті щепенюваті	1,13	1,42	-	-	-
Дерново-буроземні	1,14	1,19	-	-	-

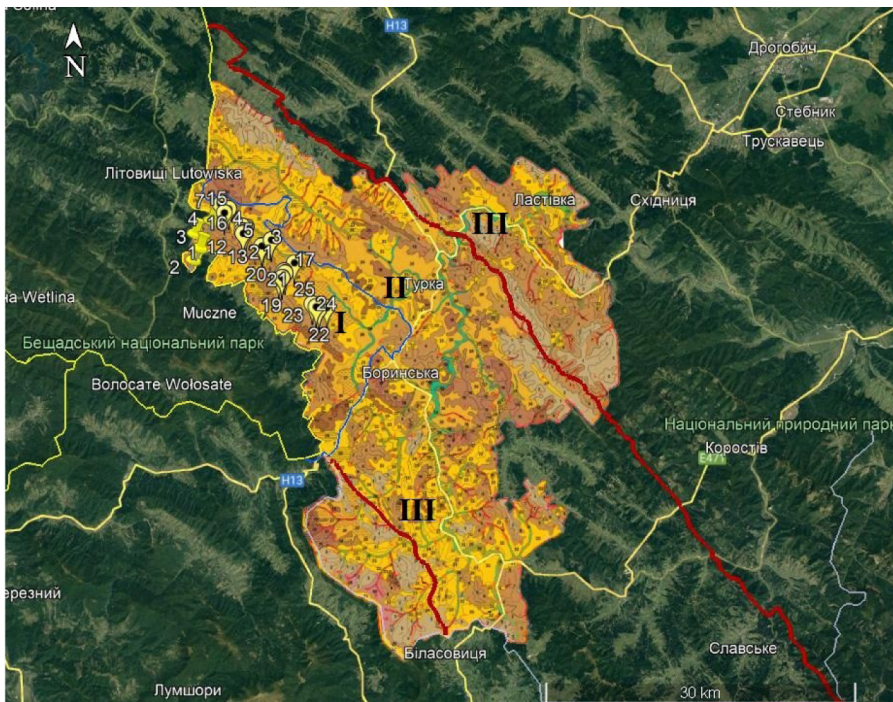


Рис. 3.2. Карта-схема ґрунтового покриття Турківського району Львівської області. I – полігон «Яблунське лісництво»; II – межі РЛП «Надсянський»; III – межі Стрийсько-Сянської Верховини

0,30 м (Minelli, 2018, Рожак, 2014). Цей шар ґрунту також характеризується показниками найбільшого надходження опадів і активності організмів-деструкторів, а також найбільшою активністю процесів гуміфікації і мінералізації органічної речовини (Багаутдинов 1994; Wachinger, Fielder, Zepp, Gattinger, Sommer, Roth, 2000).

Відбір проб лісової підстилки відбувався на кожній пробній площі без поділу на окремі горизонти у 3-х кратній повторності за допомогою рамки зі сторонами 25 см (Скородумов, 1939). Кожна точка відбору розташовувалась не ближче ніж на відстані 1,5 м від стовбура дерева, при цьому також враховувалося пошкодження підстилки лісовими тваринами. Місце відбору очищали від живого рослинного і мохового покриву, гілок ($\varnothing > 1$ см), каміння, щербю та інших компонентів, які не належать до лісової підстилки та які можна відділити без застосування додаткового лабораторного спорядження.

Під час підготовки повітряно-сухих зразків підстилки до аналізу, вручну відбирали неорганічні включення та живі корені рослин; для вилучення мінеральної частини ґрунту підстилку просіювали через сито з діаметром отворів 1 мм. (Білоус, 2014; Карпачевский, 1968; Шумаков, 1979). З кожного зразка було відібрано три проби для аналізу. Вміст органічної речовини визначали за допомогою методу сухого озолення в муфельній печі за температури 450-500°C у фарфорових тиглях № 3 або №4 впродовж 5-8 годин (Важенина, 1974; Шумаков, 1979).

Для перерахунку вмісту органічного Карбону в сухій органічній речовині підстилки використовували коефіцієнт 0,52 (Алексеев, Бердси, 1994; Уткин, Замолодчиков, і др., 1997; Честных О.В., Лыжин В.А., Кокшарова, 2007).

Облік запасів ґрубих деревних залишків (CWD) проводили на дослідній ділянці у 2 етапи, так званим методом «фіксовані площі» без поділу на класи розкладу. На першому етапі на дослідній ділянці проводили облік великих гілок ($\varnothing \geq 7$ см), частин стовбура, сухоюстю (включаючи дерева зламані на висоті $\geq 1,3$ м) і пнів. На другому етапі на ділянці розміром 3х3 м проводився облік дрібних гілок ($\varnothing \geq 1-7$ см) (Білоус, 2014; Рожак, 2014). Запас ґрубих деревних залишків визначали за формулу зрізаного конуса:

$$V = 1/3 \cdot \pi \cdot h \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2) \quad (8)$$

де h – висота зрізаного конуса (у нашому випадку довжина фрагмента), м, R , r – радіуси основ зрізаного конуса, м (Горошко, Портах, 2014).

Принцип методу полягає у вимірюванні довжини і діаметру компонентів CWD на протилежних кінцях, якщо на ділянці знаходиться фрагмент ґрубих деревних залишків, діаметр якого на протилежних кінцях значно відрізняється, для точнішого значення проводили додаткові заміри діаметру (Горошко, Портах, 2014. Morrissey, et al., 2014, Russel et al., 2015).

Було проведено оцінку запасів органічного Карбону на ділянках зрубів. Для розрахунку використовувались дані лісової таксації за 2007 р., а саме – площу зрубів, запас пнів на одному гектарі зрубів і їх діаметр, а також дані про середню висоту пнів, отримані під час проведених польових досліджень. Встановлено, що середня висота пня на зрубках сягає $0,21 \pm 0,15$ м ($n=57$), при коливанні значень від 0,05 м до 0,41 м.

Обрахунок проводився за формулою:

$$Зп. C_{пнів} = Q \cdot S \cdot \pi r^2 \cdot h \cdot 0,345 \cdot 0,5 \quad (9)$$

де Зп. $C_{пнів}$ – запас $C_{орг.}$ накопичений на зрубі у пнях, т, Q – кількість пнів на 1 гектарі, шт, S – площа виділу, га, π – 3,14, r – радіус пнів, м, h – середня висота пня 0,21 м, 0,345 – середня щільність мертвої деревини, т/м³, 0,5 – коефіцієнт перерахунку у Карбон.

Такі розрахунки разом з даними лісової таксації про запаси сухостою і захаращеності, а також даними польових досліджень дадуть можливість краще оцінити запаси органічного Карбону у пулі мертвої деревини для території дослідження.

Запас Карбону визначали розрахунково. Аналіз результатів низки досліджень свідчить про те, що вміст Карбону на різних стадіях розкладу CWD становить 47-52% (Алексеев, Бердси, 1994; Harmon, Sexton, 1996) У зв'язку з цим для проведення розрахунків у цьому дослідженні вміст Карбону приймали як 50% від загальної маси мертвої деревини.

Для визначення запасів органічного Карбону в грубих деревних залишках використовували середнє значення щільності мертвої деревини для цієї території – 345 кг·м⁻³ (Рожак, 2014).

3.3. Визначення сумарних запасів і щільності органічного Карбону у фітомасі, грубих деревних залишках, лісовій підстилці та ґрунті та їх просторовий розподіл

Сумарні запаси органічного Карбону на дослідних ділянках в фітомасі, грубих деревних залишках, лісовій підстилці та ґрунті визначені станом на 2007.

Для розрахунку сумарних запасів органічного Карбону станом на 2007 р. для пулів «фітомаса» і «лісова підстилка» здійснювалася з використанням даних лісової таксації станом на 2007 р. У пулах «ґрунт» і «грубі деревні залишки» використовувалися середні дані, отримані на основі маршрутних досліджень, а також матеріали лісової таксації щодо запасів сухостою і захаращення та мертвої деревини на зрубках.

Для пулу «ґрунт» було виявлено чітку тенденцію зростання запасів органічного Карбону з віком деревостану незалежно від типу ґрунту, тому для кожної вікової групи деревостану було вираховано середнє значення запасів $C_{орг.}$. У молодих лісах цей показник становив $45,01 \pm 5,62$ т·га⁻¹, у середньовікових – $46,07 \pm 4,71$ т·га⁻¹, а у пристигаючих і стиглих деревостанах – $50,06 \pm 1,92$ т·га⁻¹ і $57,44 \pm 6,49$ т·га⁻¹ (Пижик, Шпаківська, 2020). На нашу думку, такий вибір середніх значень дає підстави більш актуально оцінити наявні запаси органічного Карбону в ґрунтовому пулі.

Вибрана в дослідженнях методика оцінки фітомаси визначає запас $C_{орг.}$ у пулі «грубі деревні залишки» лише за наявності даних про запас сухостою в лісотакса-

ційному виділі. Враховуючи повсюдність накопичення CWD і значні коливання щільності цього пулу органічного Карбону навіть в лісах одного видового складу і вікової групи, для території досліджень було вибрано середні значення щільності $C_{\text{орг.}}$ – $3,34 \pm 2,45 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Проте для виділів з лісовими культурами віком до 20 років було використано значення $0,71 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, що зумовлено незначним накопиченням грубих деревних залишків у лісах такого віку, адже тут за нормальних умов не відбувається відпад гілок $\varnothing \geq 1 \text{ см}$, а цей пул структурно представлений в основному стовбуровим відпадом (Пижик, Шпаківська, 2020).

Для 2017 і 2027 року запаси фітомаси визначали з використанням формул (6) і (7). Окрім цього, для розрахунку запасів фітомаси станом на 2017 рік, враховували дані обліку рубок. Приріст розраховувався як різниця між приростом, розрахованим за формулою (6) і даними про втрату органічного Карбону в процесі рубки.

Для візуалізації результатів використовувалася програма QGIS v. 3.20.1. Використовуючи отримані дані, було створено картосхеми щільності та розподілу запасів органічного Карбону в лісових екосистемах території досліджень станом на 2007 і 2017 рр.

На основі даних часової динаміки зміни запасів органічного Карбону в пулі «фітомаса» складені картосхеми щільності запасів $C_{\text{орг.}}$ в цьому пулі станом на 2007, 2017 і 2027 роки. Для кращої візуалізації змін щільності запасів органічного Карбону в часі для всіх трьох картосхем використана одна шкала.

Розділ 4. ЗАПАСИ ОРГАНІЧНОГО КАРБОНУ У ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ РЛП «НАДСЯНСЬКИЙ»

4.1. Лісова підстилка та грубі деревні залишки

Лісова підстилка є надґрунтовим утворенням і складовою частиною мортаси, що формується під пологом лісу з опадів органічних решток надземних ярусів деревостану: опалого листя, хвої, гілок, кори, шишок, насіння тощо.

Як правило, листя або хвоя, чи їх комбінація у мішаних лісах формують основну частину маси лісової підстилки, їх частка може сягати 70 % (Robertson, Paul, 1999), а решта припадає на дрібні гілки (діаметром $\varnothing < 1$ см) плоди, шишки, частини стебел наявної трав'яної рослинності (Білоус, 2014)

Грубі деревні залишки (далі ГДЗ) - це відмерлі частини деревної рослинності діаметром > 1 см, що знаходяться на різних стадіях розкладу. До них також зараховують сухостій і пні. ГДЗ утворюються внаслідок природного відмирання частин або цілого дерева чи великих чагарників, а також за рахунок пошкоджень деревної рослинності шкідниками, стихійними природними явищами і людською діяльністю (Білоус, 2014).

Процес накопичення та розкладання підстилки і CWD залежить від породного складу, віку, форми деревостану, зімкнутості пологів, водного режиму та фізико-хімічних властивостей ґрунту, живого надґрунтового покриву лісової екосистеми, а також форм рельєфу, висоти над рівнем моря й температурного режиму (Білоус, 2014, Рожак, 2014, Голубець и др., 1979, Matthew, Russell, 2015, Holeksa, Zielonka, Zywiec, 2008).

Лісова підстилка є важливим блоком у біогеохімічному циклі органічного Карбону у лісових екосистемах. За рахунок активних деструкційних процесів і короткого терміну «життя» лісової підстилки, в середньому 4–5 років (Голубець и др., 1979), вона виступає одним з основних регуляторів накопичення органічної речовини ґрунтом (Giweta, 2020).

Час розкладу грубих деревних залишків є значно довший ніж у лісової підстилки. CWD можуть зберігати накопичений органічний Карбон десятки і навіть

сотні років (Stevens, 1997), в залежності від породи деревини, кліматичних умов, діяльності організмів деструкторів і діяльності людини.

Зважаючи на значну просторову неоднорідність і відсутність єдиної класифікації і методів дослідження, вплив CWD на глобальний цикл вуглецю менш вивчений (Білоус, 2014; Рожак, 2014; Голубець *и др.*, 1979; Matthew, Russell, 2015; Holeska, Zielonka, Zywiec, 2008).

Грубі деревні залишки і лісова підстилка є важливим елементом структури лісу, а особливості їх розкладання – це параметр, який необхідно враховувати при плануванні управління лісами з метою збереження біорізноманіття, а також депонування органічного Карбону на регіональному і глобальному рівні (Giweta, 2020; Herrmann, Kahl, Bauhus, 2015).

Запаси лісової підстилки і грубих деревних залишків на території Яблунського лісництва коливаються в значних межах, що веде до значних коливань запасів органічного Карбону (Табл. 4.1).

Найменші запаси лісової підстилки – $4,42 \pm 0,22$ т·га⁻¹ виявлені у 40-річному ялиннику (ДД № 1), де запас органічного Карбону становить $2,05 \pm 0,14$ т·га⁻¹. Найвищі запаси лісової підстилки і органічного Карбону зафіксовані у 103-річному буковому яличнику (ДД №7), де вони становлять $26,35 \pm 0,44$ т·га⁻¹ і $11,04 \pm 0,38$ т·га⁻¹ відповідно. Середні запаси лісової підстилки на досліджених ділянках дорівнюють $14,40 \pm 5,90$ т·га⁻¹ за відносного відхилення 33,09 %. У лісовій підстилці досліджених лісових екосистем в середньому зберігається $6,44 \pm 2,58$ т·га⁻¹ органічного Карбону, при цьому середнє відхилення становить 40,06 %.

У лісах віком 0-40 років (молоді ліси) запаси лісової підстилки і органічного Карбону змінюються від $5,29 \pm 0,14$ до $21,85 \pm 1,29$ т·га⁻¹, а запас органічного Карбону, відповідно, становить від $2,27 \pm 0,17$ до $9,97 \pm 0,48$ т·га⁻¹.

Середні запаси лісової підстилки становлять $14,47 \pm 4,73$ т·га⁻¹, а $C_{\text{орг}}$ – $6,48 \pm 2,13$ т·га⁻¹, середнє відносне відхилення становить 32,96 %.

У середньовікових лісах (40-60 р.) запас лісової підстилки становить $4,42 \pm 0,22$ – $18,52 \pm 0,84$ т·га⁻¹, а органічного Карбону – $2,05 \pm 0,14$ – $8,89 \pm 0,35$ т·га⁻¹ відповідно. У середньому тут накопичено $13,12 \pm 4,38$ т·га⁻¹ лісової підстилки і $6,01 \pm 2,02$ т·га⁻¹ органічного Карбону за середнього відносного відхилення 29,75%.

Запаси лісової підстилки і $C_{\text{орг}}$ у пристигаючих деревостанах (вік 60-80 р.) становлять $5,95 \pm 0,29$ – $21,76 \pm 0,74$ т·га⁻¹ і $2,63 \pm 0,15$ – $10,53 \pm 0,56$ т·га⁻¹ відповідно за середніх запасів лісової підстилки $13,02 \pm 6,56$ т·га⁻¹ та органічного Карбону – $6,06 \pm 3,31$ т·га⁻¹, середнє відносне відхилення тут становить 54,62 %. Таке значне відхилення пов'язане з малою вибіркою (3 дослідні ділянки) і значним коливанням запасів лісової підстилки (Табл 4.1).

У стиглих і перестійних деревостанах (вік більше 80 р.) запаси підстилки і органічного Карбону становлять $14,92 \pm 0,15$ – $26,35 \pm 0,44$ т·га⁻¹ і $6,35 \pm 0,43$ – $11,04 \pm 0,38$ т·га⁻¹ відповідно. Середні запаси лісової підстилки становлять $20,64 \pm 5,72$ т·га⁻¹, а $C_{\text{орг}}$ $8,70 \pm 2,35$ т·га⁻¹ за середнього відносного відхилення 27,01%.

Таблиця 4.1.

Запаси лісової підстилки, грубих деревних залишків і органічного карбону
у лісових екосистемах Яблунського лісництва

№ ДД*	Склад дерево-стану	Вік лісу	Запаси підстилки, $t \cdot га^{-1}$	Запаси CWD, $t \cdot га^{-1} / m^3 \cdot га^{-1}$	Запаси $C_{ор.в}$ підстилки $t \cdot га^{-1}$	Запаси $C_{ор.в}$ CWD $t \cdot га^{-1}$
Молоді ліси, вік 0-40 років						
8	9Яле1Бк	27	6,28±0,33	10.35/30.00	2,88±0,16	5,18
9	10Яцб	30	18,09±1,08	1,41/4.13	8,12±0,55	0,71
10	7Яцб3Бк+1Яв	30	17,14±0,72	6,90/20,01	7,51±0,29	3,45
11	10Яцб	27	5,29±0,14	2,93/8,50	2,27±0,17	1,47
14	6Яцб3Яле1Бк	34	13,17±1,76	3,45/10,00	5,96±0,39	1,73
17	10Яцб	23	17,48±1,04	1,73/5,01	7,62±0,52	0,86
19	5Яцб5Яле	28	16,75±1,06	6,21/18,00	7,46±0,38	3,11
20	10Яцб	20	21,85±1,29	1,73/5,01	9,97±0,48	0,86
21	6Яцб4Яле	15	13,08±1,08	3,45/9,99	5,80±0,39	1,73
22	10Яцб+Яле	30	14,24±2,26	10,70/30,01	6,45±1,12	5,35
24	8Яцб2Яле	23	15,79±0,9	7,79/22,58	7,20±0,45	3,80
Середньовікові ліси, вік 40-60 років						
1	10Яле	40	4,42±0,22	3,55/10,03	2,05±0,14	1,78
2	8Яле2Яцб	46	7,56±0,28	5,31/15,40	3,59±0,16	2,66
3	10Яцб	43	15,21±0,81	1,72/4,98	7,01±0,60	0,86
12	9Яле 1Бк	40	18,17±1,46	12,32/35,70	8,10±0,68	6,16
13	5Яцб4Яле 1Бк+Яв	45	11,75±1,29	7,59/22,00	5,33±0,60	3,80
16	6Яцб4Бк	41	18,52±0,84	5,18/15,03	8,89±0,35	2,59
18	8Яцб2Яле	51	13,16±0,72	17,25/50,00	5,90±0,28	8,63
23	10Яцб+Яле	45	15,15±1,14	15,90/46,58	6,93±0,44	7,95
25	7Яцб3Яле	43	14,16±0,85	18,98/55,01	6,27±0,38	9,46
Пристигаючі ліси, вік 60-80 років,						
4	8Яцб1Ял1Бк	70	21,76±0,74	3,59/10,04	10,53±0,56	1,79
5	9Яцб1Яле	70	5,95±0,29	3,45/10,00	2,63±0,15	1,73
15	8Бк1Яцб1Яцк	73	11,35±0,87	2,07/6,00	5,02±0,40	1,04
Стигли і перестійні ліси, вік понад 80 років						
6	9Яцб1Бк	82	14,92±0,15	6,75/19,57	6,35±0,43	3,38
7	8Яцб2Бк	103	26,35±0,44	6,93/20,00	11,04±0,38	3,47

* - дослідна ділянка

Запас грубих деревних залишків і, відповідно, запас органічного Карбону у цьому пулі на досліджуваній території значно коливаються. Найвищі запаси CWD були виявлені на дослідній ділянці № 25 у ялиновому яличнику віком 43 р., де вони становили $18,98 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ ($55,01 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$), тоді як запаси органічного Карбону тут дорівнювали $9,46 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$. Найменші запаси виявлені у тридцятирічному яличнику (ДД №9) – $1,41 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ ($4,13 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$), що у перерахунку на Карбон становить $0,71 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, (Табл. 4.1). У середньому деревостанами Яблунського лісництва на час проведення досліджень накопичено $6,69 \pm 4,91 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ ($19,38 \pm 14,22 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$) CWD, і $3,34 \pm 2,45 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1} C_{\text{орг}}$. Середнє відносне відхилення становило 73,35%.

У молодих (0-40 р.) лісах запаси грубих деревних залишків становлять $1,41-10,70 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ ($4,13-30,01 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$), а органічного Карбону – $0,71-5,35 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ відповідно. Середні запаси органічного Карбону, акумульованого в CWD, у молодих лісах становлять $2,57 \pm 1,63 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, а середні запаси дебрису – $5,15 \pm 3,26 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ за середнього відносного відхилення 63,42 %.

Запаси CWD у середньовікових деревостанах (40-60 р) коливаються від $1,72 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ ($4,98 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$) до $18,98 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ ($55,01 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$). Запаси $C_{\text{орг}}$. В таких деревостанах становлять $0,86-9,46 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$. У середньому тут накопичується $9,76 \pm 6,09 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ мертвої деревини, у якій депоновано $4,88 \pm 3,04 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ органічного Карбону, а середнє відносне відхилення вимірювань становить 62,30%. Значні середні обсяги накопичення CWD у цих лісах пов'язані з буреломами і вітровалами, які спричинили значне накопичення дебрису на ДД №№ 18, 24 і 25.

У лісах віком 60-80 р (пристигаючі ліси) накопичується $2,07-3,59 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ ($6,00-10,04 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$) грубих деревних залишків, і $1,04-1,79 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ органічного Карбону. В середньому в цих деревостанах накопичується $3,04 \pm 0,69 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ дебрису і $1,52 \pm 0,34 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1} C_{\text{орг}}$. Відносне середнє відхилення тут в порівнянні з наведеними вище значеннями є значно менше і становить 22,37%

У стиглих і перестиглих лісах запаси грубих деревних залишків становлять $6,75-6,93 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ ($19,57-20,00 \text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$), а запаси органічного Карбону – $3,38-3,47 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$. Середні запаси грубих деревних залишків становлять $6,84 \pm 0,09 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, в них акумульовано та зберігається $3,43 \pm 0,05 \text{ т} C_{\text{орг}}$. У зв'язку з малою вибіркою (лише 2 дослідні ділянки) і дуже близьким значеннями запасів грубих деревних залишків тут виявлено найменше середнє відносне відхилення вимірювань, що становить лише 1,46%.

Площа зрубів станом на 2007 р. у Яблунському лісництві становить 69,60 га або 2,79% від площі лісництва. В їхніх межах накопичено 24,78 т органічного Карбону або 0,28% від загальної розрахованої для лісництва кількості. Хоч вклад зрубів у загальний баланс органічного Карбону є незначним, проте є підстави вважати, що в експлуатаційних лісах, де масштаби вирубок є набагато вищими, це призводить до значних втрат депонованого вуглецю.

У межах дослідних ділянок встановлено значне коливання запасів CWD (Табл. 4.2).

На нашу думку, це спричинено проявом стихійних природних явищ – буреломів, вітровалів, значними снігопадами, які ламають гілки у старих деревостанах та навіть цілі ділянки молодих лісів (ДД № 18, 22, 23, 24, 25). Також значно впливають

Середньозважені результати депонування органічного Карбону в пулах
«лісова підстилка» та «грубі деревні залишки» в лісових екосистемах
РЛП «Надсянський»

Пули С	Запаси органічного Карбону, $t \cdot ga^{-1}$					
	Молоді ліси, 0-40 р.	Середньовікові ліси, 40-60 р.	Пристигаючі ліси, 60-80 р.	Стигли і перестійні ліси, > 80 р.	Середні дані по всіх групах віку на основі даних польових досліджень	Середні дані по всіх групах віку, на основі даних таксації 2007 р.
Лісова підстилка	$6,48 \pm 2,13$ 32,96%*	$6,01 \pm 2,02$ 29,75%	$6,06 \pm 3,31$ 54,62%	$8,70 \pm 2,35$ 27,01%	$6,44 \pm 2,58$ 40,06%	$4,22 \pm 2,17$ 51,34%
Грубі деревні залишки	$2,57 \pm 1,63$ 63,42%	$4,88 \pm 3,04$ 62,30%	$1,52 \pm 0,34$ 22,37%	$3,43 \pm 0,05$ 1,46%	$3,34 \pm 2,45$ 73,35%	-

* – середнє відносне відхилення результатів від середнього значення

на формування запасів грубих деревних залишків незаконні рубки (ДД № 8), що трапляються поблизу населених пунктів цієї густозаселеної території. Природоохоронний режим загалом повинен сприяти накопиченню CWD, оскільки чинним законодавством заборонено вилучати мертву деревину з лісових екосистем (ДД № 8, 18, 22, 23, 24, 25). Усі ці фактори в сукупності формують значну неоднорідність запасів органічного Карбону, акумульованого грубими деревними залишками на території досліджень.

Запаси органічного Карбону у лісовій підстилці і грубих деревних залишках виявляють пряму залежність від самих запасів лісової підстилки і грубих деревних залишків.

Загалом, щільність запасів органічного Карбону в пулах «лісова підстилка» і «грубі деревні залишки» є досить неоднорідною і значно коливаються навіть в межах однієї вікової групи (Табл. 4.2). На це вказують значення відносних відхилень результатів від середнього результату. Це твердження є справедливе як для лісової підстилки так і для грубих деревних залишків. В наших дослідженнях не виявлено чіткого зростання значення щільності органічного Карбону у блоках лісова підстилка і CWD залежно від віку деревостану. Проте у пулі лісова підстилка спостерігається різке збільшення щільності запасів $C_{орг}$ в стиглих і перестійних деревостанах з $\sim 6-6,50 t \cdot ga^{-1}$ до $8,70 t \cdot ga^{-1}$. Це достатньо очікувано, оскільки стиглі деревостани продукують значну кількість опадів як з основного ярусу так і з підросту і підліску, який тут активно розвивається за зімкнутості основного ярусу 0,5 (Табл.1.1).

Така варіабельність результатів також може бути пов'язана з природоохоронним статусом території, що обмежує вплив людини в процес регуляції продуктивності деревостанів, накопичення лісової підстилки і грубих деревних залишків, а також обмежує втручання в процес росту деревостану. Це не дає можливості формувати деревостани, орієнтовані тільки на високу лісогосподарську продуктивність, що в свою чергу наближає ці деревостани до природних, які відрізняються більшою мінливістю лісотаксаційних параметрів (Карбчук, 2014.).

Процес деponування $C_{орг.}$ у пулі «грубі деревні залишки» визначається складною взаємодією природно-господарських факторів, які в процесі своєї взаємодії формують баланс органічного Карбону в цьому пулі. Тут важливу роль відіграють стихійні явища (вітровали, буреломи, сильні снігопади тощо), інвазії хворіб і шкідників. На нашу думку саме тому й спостерігається значна дисперсія значень запасів органічного Карбону.

На основі регресійних рівнянь і даних лісової таксації було також визначено показники щільності запасів органічного Карбону в пулі лісова підстилка. Станом на 2007 р. середня щільність запасів органічного Карбону в межах території досліджень становила $4,22 \pm 2,17$ т·га⁻¹ за відносного відхилення 51,34%. Цей результат є на 30% менший від отриманого нами в результаті експериментальних досліджень. Проте прямо порівнювати отримані дані не варто, адже від моменту таксаційних досліджень до моменту проведення польових пройшло 10 років і за цей час зріс вік лісу, що у цій віковій категорії веде до збільшення продуктивності деревостанів і, як наслідок, до збільшення надходження лісового опадів у лісову підстилку, що призводить до зростання показників її маси в певний момент часу й, закономірно, вищих показників щільності запасів органічного Карбону.

Порівнюючи дані щодо запасів органічного Карбону в лісовій підстилці та грубих деревних залишках, можна зробити висновок, що отримані нами результати є загалом дещо нижчими для пулу «лісова підстилка», також має місце досить істотна різниця у величинах пулу «грубий деревний детрит».

Запаси лісової підстилки у хвойних лісах Євразії оцінюються у межах 10-70 т·га⁻¹ (Родин, Базилевич, 1965). Згідно даних FAO, станом на 2005 р. середні запаси мертвої деревини у лісових екосистемах світу становили 20,00 т·га⁻¹, а у Європі 28 т·га⁻¹, тоді як органічного Карбону – 9,80 т·га⁻¹ і 14,00 т·га⁻¹ відповідно. Згідно цієї ж інформації FAO, в середньому в світі у лісовій підстилці акумульовано 6,30 т·га⁻¹ $C_{орг.}$, у Європі цей показник становив 6,1 т·га⁻¹ (FAO 2005, 2006). У 2020 р. запаси органічного Карбону у CWD і лісовій підстилці становили 16,90 т·га⁻¹ у Європі і 16,80 т·га⁻¹ у світі, проте тут слід відзначити, що у порівнянні з 2005 роком, збільшилась кількість даних, які дозволяють більш точно оцінити запаси $C_{орг.}$ у цих пулах (FAO 2020, 2020).

Запас лісової підстилки на території України коливається у межах 6-39 т·га⁻¹, у лісах Українських Карпат середній показник запасів лісової підстилки оцінюється на рівні 13,00 т·га⁻¹, а середні запаси $C_{орг.}$ деponованого у підстилці, становлять 15-16 т·га⁻¹ (Букша, Распоніна., Пастернак, 2012). До порівняння, станом на

2006 р. запаси органічного Карбону у лісах Німеччини дорівнювали 6,2-27,1 т-га⁻¹ (Grüneberg, Ziche, Wellbrock, 2014). У лісових гірських екосистемах Східних Карпат, які розташовані на висотах 500-1000 м н.р.м., запаси лісової підстилки коливаються у межах 5,71-33,20 т-га⁻¹ (Zielonka et al., 2021).

Середні запаси лісової підстилки в ялинових лісах Українських Карпат змінюються від 10 т-га⁻¹ до 30 т-га⁻¹, проте максимальні їхні значення для цих екосистем можуть досягати 50 т-га⁻¹ (Чорнобай, 2000) та 7-17 т-га⁻¹ у букових лісах (Голубець та ін., 1979). В таких компонентах мортмаси, як сухостій і ламань, згідно таксаційних даних, середні запаси органічного Карбону становлять 7,3 т-га⁻¹ (Лакида та ін., 2013).

У Сколівських Бескидах запаси підстилки в мішаних лісах змінюються від 10,1 т-га⁻¹ до 30,4 т-га⁻¹ (Леневич, Марискевич, 2015). В.Рожак у своїх дослідженнях виявив, що запаси органічного карбону на території Стрийсько-Сянської верховини становлять 4,67-9,26 т-га⁻¹ - у лісовій підстилці, і 3,83-23,50 т-га⁻¹ у CWD (Рожак, 2014). На території Карпатського НПП запаси органічного Карбону у детриті становлять 4,2-21,2 т-га⁻¹ (Рожак, Шпаківська, Папіш, 2017).

О.Марискевич і І.Шпаківська, використовуючи таксаційні дані і регресійні рівняння, встановили, що середні запаси органічного Карбону в лісовій підстилці на території Стрийсько-Сянської верховини (Яблунське лісництво) становлять 4 т-га⁻¹, а у стовбуровому відпаді 0,9 т-га⁻¹, вони також вказують на значне коливання результату залежно від віку й повноти деревостанів (Шпаківська, Марискевич, 2009). Запаси органічного карбону у CWD лісів на території гірського масиву Баб'я Гора (Західні Бескиди) становлять 1,6-64,4 т-га⁻¹ (Merganičová, 2010, Merganičová, Merganič, Svoboda, et al. 2012.).

Встановлені внаслідок проведених досліджень запаси лісової підстилки і органічного Карбону в пулі «лісова підстилка» є близькими до наведених вище літературних даних і лише частина з них є нижчою. Це свідчить про хороші показники фітосанітарного стану лісостанів і можливість підтримувати середні показники продуктивності, характерні для регіону досліджень, навіть за значної варіабельності показників середніх результатів запасів лісової підстилки.

Стосовно запасів органічного Карбону в пулі «грубі деревні залишки» має місце дещо інша картина. Це пов'язано з переважанням молодих і середньо-вікових деревостанів, які є менш продуктивними щодо нагромадження грубих деревних залишків за умови нормального функціонування (мається на увазі відсутність таких стихійних природних явищ як вітровали, буреломи, дуже сильні снігопади, які призводять до значних пошкоджень особливо у молодих лісах, пожеж, інвазії хворіб і шкідників). Прояв усіх цих чинників призвів до формування нижчих запасів $C_{\text{орг}}$ у детриті на досліджуваній території. Також, вважаємо, що природоохоронний режим буде сприятиме накопиченню грубих деревних залишків і відповідно органічного Карбону.

Щодо питання оптимальних об'ємів щільності мертвої деревини, які наводяться в науковій літературі - 20 м³-га⁻¹ (Dudley et al., 2004), 5 м³-га⁻¹ для експлуатацій-

них лісів і $30 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ для заповідних територій ми вважаємо, що це дуже дискусійне та складне питання і тому проводити порівняння отриманих результатів з літературними є доволі некоректно, особливо це стосується молодих лісів. Вважаємо, що такі показники слід застосовувати для лісів віком вище 60 років.

Через різносторонній процес утворення накопичення і зберігання у лісовій екосистемі, такий пул органічного Карбону як ГДЗ потрібно досліджувати у двох напрямках – безпосередні дослідження в польових умовах і аналіз найновіших, на момент проведення польових досліджень, лісотаксаційних даних. Тому, на нашу думку, отримані дані з якогось одного конкретного досліджуваного об'єкту треба з обережністю застосовувати до іншого навіть за умови, якщо вони знаходяться в однакових природних умовах, а деревостани є схожими за своїми таксаційними характеристиками. Саме тому ми не виводили тут середнього значення, як це було зроблено для лісової підстилки, адже близькі значення запасів лісової підстилки були розраховані як на основі даних польових досліджень так і на основі лісотаксаційних матеріалів.

Загалом, результати проведених досліджень запасів органічного Карбону у лісовій підстилці і грубих деревних залишках у межах Яблунського лісництва РПП «Надсянський», є репрезентативними для території Стрийсько-Сянської верховини. Середні результати щільності органічного Карбону у лісовій підстилці також можуть бути використані для оцінки запасів органічного Карбону у лісах з близькою віковою та видовою структурою на території Стрийсько-Сянської верховини. Дані щодо запасів $C_{\text{орг}}$ у пулі «грубі деревні залишки» є найбільш репрезентативними для конкретної території дослідження – Яблунського лісництва. Для інших районів Стрийсько-Сянської Верховини застосування цих результатів може внести значну похибку в розрахунки, проте цей результат буде більш точніший від того, який ми отримуємо за умови врахування лише матеріалів лісотаксаційного обстеження.

4.2. Запаси органічного Карбону у шарі ґрунту 0-0,25 м

Ґрунтовий органічний Карбон є частиною Карбону, яка залишається в ґрунті після часткового розкладання будь-якого органічного матеріалу, який потрапив до цього блоку екосистеми. Він є ключовою ланкою глобального циклу вуглецю і головним компонентом органічної речовини ґрунту. Втрата $C_{\text{орг}}$ ґрунтом вказує на певний ступінь не лишень його деградації, але й екосистеми загалом, оскільки ґрунти є найбільшим суходольним резервуаром органічного Карбону. Залежно від геологічних особливостей, кліматичних умов, видів землекористування та менеджменту ґрунти утримують різні пули органічного Карбону (FAO 2017, 2017). Вміст органічного Карбону та гумусу використовується деякими дослідниками як індикатор моніторингу здоров'я ґрунту і його здатності виконувати свої функції у екосистемі (Lal, Kimble, Follet, 1997).

Кількість Карбону, що нагромаджується в ґрунтах, залежить від низки факторів, включаючи його надходження з блоку фітомаси, втрати внаслідок розкладу

та біодеградації, фізико-хімічних характеристик та таких кліматичних показників як температура й опади. Внесок лісової екосистеми в запас органічного Карбону в ґрунті включає листовий опад, грубі деревні залишки, коріння, кореневі екsudати та розчинену органіку, вилужену з шару підстилки. Чи стабілізуються ці надходження в мінеральній матриці ґрунту (поглинаються), чи біологічно розкладаються та повертаються в атмосферу у вигляді вуглекислого газу, залежить від складних дрібномасштабних взаємодій за участю ґрунтових мінералів, рослин і ґрунтових організмів за впливу на всі ці процеси більш масштабних факторів, зокрема, клімату і менеджменту лісовими насадженнями (D'Amore, Kane, 2016).

Підраховано, що загальні ресурси органічного Карбону у ґрунтах світу становлять 1555 Пг, (шар ґрунту глибиною 0-1 м), що у 2,1 рази більше за запаси вуглецю в атмосфері і у 2,7 разів більше, ніж запаси у всіх зелених рослинах планети (Lal, Kimble, Follet, 1997).

Безпосередньо ґрунтами лісових екосистем накопичено близько 860 Пг органічного Карбону (Mathias et al., 2020). За даними європейських дослідників у лісових ґрунтах Європи міститься 53,9% органічного Карбону.

За даними IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change), щороку у всьому світі ґрунтами акумулюється приблизно 1,3-1,5 Пг С, а рослинним покривом - 0,5-0,6 Пг С. Зеленими рослинами кожного року поглинається приблизно еквівалентна маса Вуглецю, що вивільняється з ґрунту, а це приблизно 60 Пг, при цьому сумарні викиди від спалювання всіх видів викопного палива становлять 5,5 Пг на рік. Також слід зазначити, що за деякими оцінками, внаслідок активного розорювання ґрунтів додатково у атмосферу щороку потрапляє ще від 400 до 800 Тг вуглецю (Lal, Kimble, Follet, 1997; IPCC 1995, 1995).

ґрунти відіграють значну роль у процесі секвестрування вуглецю, депонуючи значну кількість органічного вуглецю в своїй товщі. Основний вклад в запас органічного карбону в ґрунті вносять рослини, точніше відпад – гілки, хвоя, листя, коріння та інші відмерлі залишки.

Газопоглинальна функція ґрунту відіграє важливу роль у регулюванні газового складу атмосфери, у тому числі й вмісту CO_2 . Перша оцінка поглинання CO_2 ґрунтами була проведена ще у 1926 р., а пізніше було вивчено і сам механізм поглинання вуглекислого газу. Органічний Карбон ґрунту майже цілком є зв'язаним системою високомолекулярних гумусових сполук і є стійким до розкладу (Букиша, та ін., 2012).

На сучасному етапі з боку дослідників приділяється значна увага до динаміки органічної речовини ґрунту, оскільки різні її складові, у тому числі і органічний Карбон, на який припадає 55-60 % (FAO 2015, 2015), є чутливими до змін клімату (IPCC 2001, 2001). Зв'язок між органічним Карбоном і глобальним потеплінням є двостороннім: підвищення температури сприятиме швидшому розкладу органічної частини ґрунту, а парникові гази, які внаслідок цього будуть виділятися, сприятимуть розвитку самого процесу глобального потепління (Raich, Schlesinger, 1992).

Гірські ліси займають площу майже 13 млн. км², що становить 32% від загальної площі лісів планети. Такі масштаби визначають їхню роль у регулюванні клі-

матичних показників, зокрема, через величину карбоносеквестраційного потенціалу лісових ґрунтів. На локальному рівні ґрунти через процеси випаровування впливають на температуру повітря, а на глобальному – вони виступають акумулятором Карбону. Зокрема, ґрунти тропічних лісових екосистем досить ефективно поглинають і метан, цим самим запобігаючи додатковому нагріванню атмосфери (FAO 2020, 2020, FAO and ITPS, 2021, Hock, et al., 2019, Zhao, et al., 2019, Delmas, et al., 1992).

Виходячи з фізичної та хімічної стійкості органічних сполук Карбону ґрунту, його можна розділити на 3 пули – перший можна класифікувати як швидкий пул (розкладається протягом 1-2 років), другий – проміжний пул (частково стабілізований органічний вуглець із часом обертання в діапазоні 10-100 років) і 3 – повільний пул (високостабільний вуглець ґрунту, розклад якого відбувається вродовж 100 - 1000 і більше років) (Lefèvre et al., 2017). Існує також інша класифікація термінів розкладу органічних сполук вуглецю ґрунту, де швидкий пул становить менше 90 днів для найактивнішої частини ґрунтового пулу $C_{\text{орг}}$ (2-8 %), другий (повільний пул), який охоплює приблизно 50%, триває 10 – 80 років і пасивний (стабільний) пул $C_{\text{орг}}$ ґрунту - понад 1000 років (Bedernichek, 2017).

Все це свідчить про те, що ґрунт є одним з тих пулів органічного Карбону у межах лісових екосистем і планети загалом, який здатний забезпечити значне поглинання і довготривале зберігання органічного Карбону у своїй товщі (Grüneberg et al., 2014, Matuszkiewicz, Affek, Kowalska, 2021).

Оцінка запасів органічного вуглецю ґрунту та інтенсивності його мінералізації (продукування CO_2) є важливим інструментом для розуміння ролі ґрунтів у глобальному циклі вуглецю та оцінці можливої «відповіді» біосфери на різні глобальні кліматичні зміни (Kern, Turner, Dodson, 1997).

Оцінюючи запаси $C_{\text{орг}}$ у ґрунтах різних екосистем (особливо гірських регіонів), слід також наголосити на значній ролі лісового покриву. Ця роль проявляється в акумуляції органічного карбону у стовбуровій деревині та його зберіганні впродовж тривалого періоду, кількості опаду, який за рахунок гуміфікації формує запаси органічного карбону в підстилці та ґрунтових горизонтах (Голубець, та ін., 2007, Kern, et al., 1997, Bedernichek, 2017, Шпаківська, Марискевич, 2009, Рожак, 2014, FAO and ITPS, 2021).

Загалом, органічний Карбон ґрунту є важливою складовою механізму регулювання кількості парникових газів в атмосфері, що пов'язано зі значними його запасами, здатністю зв'язувати і утримувати $C_{\text{орг}}$ протягом тривалого періоду часу. Окрім цього, ґрунтовий органічний Карбон відіграє ще безліч важливих функцій як у процесі формування і розвитку самого ґрунту так і лісової екосистеми. Стійкість пулу органічного Карбону ґрунту напряму залежить від типу екосистеми, тобто вона безпосередньо буде впливати на здатність депонування $C_{\text{орг}}$ ґрунтом (Schmidt, et al., 2011).

Враховуючи означене вище, можна дійти висновку, що органічний Карбон ґрунту, який є складовою частиною органічної складової ґрунту лісових екосис-

тем, відіграє значну роль як і у функціонуванні самої лісової системи, так і в регуляції зміни клімату на регіональному і глобальному рівнях в складі лісових біогеоценозів, при цьому будучи чутливим до цих змін.

Встановлено, що запаси органічного Карбону в шарі ґрунту 0-0,25 м змінюються від $33,24 \pm 1,88$ т-га⁻¹ (ДД № 21) в бурих лісових середньоглибоких щebenюватих ґрунтах до $63,93 \pm 1,74$ т-га⁻¹ (ДД № 7) в бурих лісових опідзолених середньоглибоких глеюватих щebenюватих ґрунтах (Табл. 4.3-4.6) Середні запаси органічного Карбону становлять $46,99 \pm 6,91$ т-га⁻¹ за відносного середнього відхилення 14,71%.

У лісах віком 0-40 років (молоді ліси) запаси органічного Карбону у ґрунті змінюються від $33,24 \pm 1,88$ до $56,58 \pm 4,16$ т-га⁻¹. Середні запаси $C_{\text{орг}}$ становлять $45,01 \pm 5,62$ т-га⁻¹, а середнє відносне відхилення -12,49 % (Табл. 4.3)

У середньовікових лісах (40-60 р.) запас органічного Карбону становить $39,25 \pm 1,13$ - $57,73 \pm 5,08$ т-га⁻¹. У середньому тут накопичено $46,07 \pm 4,71$ т-га⁻¹ органічного Карбону, при середньому відносному відхиленні 10,22% (Табл. 4.4).

Запаси $C_{\text{орг}}$ у пристигаючих деревостанах (вік 60-80 р.) становлять $48,34 \pm 0,77$ - $52,93 \pm 0,30$ т-га⁻¹, середні запаси - $50,06 \pm 1,92$ т-га⁻¹, середнє відносне відхилення - 3,84%. У стиглих і перестійних лісах запас органічного Карбону сягає $50,95 \pm 1,53$ - $63,93 \pm 1,74$ т-га⁻¹, середні запаси - $57,44 \pm 6,49$ т-га⁻¹ за середнього відносного відхилення 11,30% (Табл. 3.5).

Глеюваті відміни бурих лісових ґрунтів завдяки процесам оглеєння мають більшу щільність складення, яка зумовлює вищі запаси органічного Карбону на одиницю об'єму, що веде до збільшення його загальних запасів, навіть якщо відсотковий вміст є нижчим (Табл. 4.3).

На ДД № 23-25 високий запас органічного Карбону в ґрунті може бути зумовлений із значним вмістом органіки, яка потрапила сюди внаслідок розкладу грубих деревних залишків, що було зумовлене вітровалом, який пройшов на цій ділянці в 90-х роках минулого століття. Це призвело до утворення потужного (як для гірських лісових екосистем) 0,07 м гумусового (Н) горизонту з вмістом органічного Карбону 4,31% і гумусу 7,43% (Табл. 4.4).

Значне надходження органіки призвело до формування оторфованого горизонту на ДД №23 з вмістом гумусу 11,74%, а органічного Карбону 6,81% у верхньому горизонті (Табл. 4.4).

В межах дослідного полігону «Яблунське лісництво» виявлено чітке зростання середніх показників щільності запасів органічного Карбону зі зростанням віку деревостанів (Табл. 4.6). При цьому така тенденція характерна як для окремого типу ґрунту так і загалом в межах одної вікової групи деревостанів. Така тенденція є очікуваною, адже чим більшим є вік лісу, тим довше в ньому відбувалось накопичення органіки в ґрунті.

Також було проведено оцінка вмісту гумусу у верхніх і нижніх горизонтах (Табл. 3.2.1-3.2.3). Вміст гумусу змінюється від 4,14% у Н горизонті дернових ґрунтів до 11,74% в оторфованому верхньому горизонті бурих лісових середньоглибоких щebenюватих ґрунтів. У нижніх горизонтах вміст гумусу коливається від

Таблиця 4.3

Вміст і запас органічного Карбону в шарі ґрунту 0-0,25 м, на території Яблунського лісництва (РЛП «Надсянський»), молоді ліси (0-40 рр.)

№ ДД*	Склад дерево-стану	Вік лісу	Тип ґрунту	Ґрун-тові гори-зонти	Глибина відбору проб, м	Вміст $C_{орг}$, %	Вміст гуму-су, %	Запаси $C_{орг}$, т
8	9Яле1Бк ₁	27	Бурі лісові опідзолені середньоглибокі глеюваті щебенюваті	Н	0-0,05	2,93	5,06	40,16±1,68
				Нр	0,05-0,27	0,83	1,44	
9	10Яцб	30	Бурі лісові опідзолені середньоглибокі глеюваті щебенюваті	Н	0-0,05	3,05	5,25	50,37±1,11
				Нр	0,05-0,32	1,17	2,01	
10	7Яцб3Бк+1Яв	30	Бурі лісові опідзолені середньоглибокі глеюваті щебенюваті	Н	0-0,05	2,98	5,14	52,72±1,50
				Нр	0,05-0,43	1,26	2,18	
11	10Яцб	27	Бурі лісові опідзолені середньоглибокі глеюваті щебенюваті	Н	0-0,07	2,97	5,13	51,04±1,12
				Нр	0,07-0,33	1,07	1,85	
14	6Яцб3См1Бк	34	Бурі лісові середньоглибокі середньозмиті щебенюваті	Н	0-0,03	3,12	5,38	39,80±1,80
				Нр	0,03-0,27	1,15	1,98	
17	10Яцб	23	Дерново-буроземні	Н	0-0,03	2,40	4,14	42,04±2,34
				Нр	0,03-0,23	1,09	1,88	
19	5Яцб5Я-ле	28	Бурі лісові середньоглибокі середньозмиті щебенюваті	Н	0-0,03	3,24	5,59	45,26±1,21
				Нр	0,03-0,26	1,35	2,32	
20	10Яц	20	Бурі лісові середньоглибокі щебенюваті	Н	0-0,02	3,46	5,96	40,13±1,54
				Нр	0,02-0,28	1,86	3,21	
21	6Яцб4Я-ле	15	Бурі лісові середньоглибокі щебенюваті	Н	0-0,02	3,08	5,31	33,24±1,88
				Нр	0,02-0,27	1,21	2,09	
22	10Яцб+Яле	30	Бурі лісові середньоглибокі щебенюваті	Н	0-0,10	3,79	6,54	43,80±2,85
				Нр	0,10-0,25	0,84	1,44	
24	8Яцб2Я-ле	23	Бурі лісові середньоглибокі щебенюваті	Н	0-0,07	4,31	7,43	56,58±4,16
				Р	0,07-0,29	1,37	2,36	

Таблиця 4.4

Вміст і запас органічного Карбону в шарі ґрунту 0-0,25 м, на території Абулунського лісництва (РЛП «Надсянський»), середньовікові ліси (41-60 рр.)

№ ДД*	Склад дєревостану	Вік лісу	Тип ґрунту	Ґрун-тові гори-зонти	Глиби-на від-бору проб, м	Вміст $C_{орг}^T$, %	Вміст гуму-су, %	Запаси $C_{орг}^T$
1	10Яле	40	Дєрново-буроземні	Н	0-0,02	2,72	4,68	42,52±2,29
				Нр	0,02-0,26	1,12	1,93	
2	8Яле2Яцб	46	Дєрново-буроземні	Н	0-0,02	2,97	5,12	41,63±2,41
				Нр	0,02-0,28	1,07	1,85	
3	10Яцб	43	Бурі лісові середньо-глибокі глеюваті щебенюваті	Н	0-0,04	3,09	5,32	53,89±1,41
				Нр	0,04-0,21	1,73	2,98	
12	9Яле 1Бк	40	Бурі лісові середньо-глибокі щебенюваті	Н	0-0,07	3,09	5,33	39,25±1,13
				Нр	0,07-0,33	1,18	2,04	
13	5Яцб4Яле 1Бк+Яв	45	Бурі лісові середньо-глибокі середньо-змиті щебенюваті	Н	0-0,03	2,67	4,61	39,90±3,01
				Нр	0,03-0,26	1,21	2,08	
16	6Яцб4Бк	41	Бурі лісові середньо-глибокі середньо-змиті щебенюваті	Н	0-0,05	3,07	5,29	49,98±1,87
				Нр	0,05-0,35	1,46	2,52	
18	8Яцб2Яле	51	Бурі лісові середньо-глибокі середньо-змиті щебенюваті	Н	0-0,04	2,97	5,13	45,97±2,16
				Нр	0,04-0,25	1,34	2,31	
23	10Яцб +Яле	45-25	Бурі лісові середньо-глибокі щебенюваті	Н оторф.	0-0,04	6,81	11,74	57,73±5,08
				Н+Ph	0,04-0,25	2,63	4,53	
25	7Яцб3Яле	43	Бурі лісові середньо-глибокі щебенюваті	Н	0-0,07	4,08	7,04	47,79±2,95
				Р	0,07-0,32	1,05	1,81	

1,44% до 2,63%. Таке різке зменшення вмісту гумусу і, як наслідок, органічного Карбону, є типовим для бурих лісових ґрунтів Українських Карпат (Андрущенко, 1970, Голубець, ред., 2007, Панас, 2009, Позняк, ред., 2019, Рожак, 2014).

Органічний Карбон ґрунту є важливою часткою глобальних і регіональних запасів $C_{орг}$, секвестрованого наземними екосистемами. Зважаючи на значні можливості ґрунту нагромаджувати Карбон з атмосфери і органічного опад, а також роль $C_{орг}$ як складової частини органічної речовини ґрунту, дослідження його

Таблиця 4.5

Вміст і запас органічного Карбону в шарі ґрунту 0-0,25 м, на території Яблунського лісництва (РЛП «Надсянський»), пристигаючі (61-80 рр.) та стиглі й перестійні ліси (понад 80 р.)

№ ДД*	Склад дерево-стану	Вік лісу	Тип ґрунту	Ґрун-тові гори-зонти	Глиби-на від-бору проб, м	Вміст $C_{орг}$, %	Вміст гуму-су, %	Запаси $C_{орг}$, Т
4	8Яцб1Ял 1Бк	70	Бурі лісові середньо-глибокі щепенюваті	Н	0-0,07	3,52	6,07	52,93±0,30
				Нр	0,07-0,27	1,8	3,11	
5	9Яцб1Яле	70	Бурі лісові середньо-глибокі щепенюваті	Н	0-0,06	3,36	5,79	48,90±0,06
				Нр	0,06-0,27	1,69	2,91	
15	8Бк1Яцб 1Яцк	73	Бурі лісові середньо-глибокі середньо-змиті щепенюваті	Н	0-0,08	3,07	5,30	48,34±0,77
				Нр	0,08-0,40	1,40	2,41	
6	9Яцб1Бк	82	Бурі лісові середньо-глибокі середньо-змиті щепенюваті	Н	0-0,06	3,55	6,13	50,95±1,53
				Нр	0,06-0,30	1,25	2,15	
7	8Яцб2Бк	103	Бурі лісові опідзолені середньоглибокі глекюваті щепенюваті	Н	0-0,05	3,52	6,08	63,93±1,74
				Нр	0,05-0,41	1,52	2,67	

запасів, особливостей біогеохімічного кругообігу є важливим напрямком досліджень і узагальнень науковців у цілому світі.

Однією з найбільших баз даних, де наведені дані про запаси органічного Карбону, є бази даних FAO. Так, згідно з даними цієї міжнародної організації, станом на 1990 р. середні запаси $C_{орг}$ у ґрунтах Європи і світу, розраховані для шару 0-0,3 м, становили 113,1 і 72,7 т·га⁻¹ відповідно, станом на 2020 рік ці ж показники дорівнювали 107,0 і 73,8 т·га⁻¹ (FAO 2005, 2006, FAO 2020, 2020). Якщо порівнювати наведені результати з отриманими внаслідок проведеного дослідження, то встановлені середні результати є нижчими, що може бути зумовлено розрахунками для шару 0-0,25 м.

Запаси органічного Карбону у ґрунтах країн Європейського союзу коливаються від 12,6 до 197,1 т·га⁻¹ (Baritz, et al., 2010), так, зокрема, в Німеччині цей показник становить 24,60-104,5 т·га⁻¹ (Baritz, et al., 2010), у Великій Британії в шарі ґрунту 0-0,80 м - 108-488 т·га⁻¹, при цьому у верхньому шарі 0-0,20 м накопичується від 29% до 69% від загального запасу (Vanguelova, et al., 2013).

В ґрунтах гірських лісових екосистем за даними різних дослідників для шару 0-0,30 см запас органічного Карбону становить: у Альпах - 61-278, у Піренеях - 38-165 (FAO and ITPS, 2021)? в Корконошах (Судети) - 50,3-225,0 т·га⁻¹ (Szopka, K. et al. 2016).. У За-

Таблиця 4.6

Середні запаси органічного карбону у різних типах ґрунту і лісах різних вікових груп на території РЛП «Надсянський»

Назва ґрунту	Середні запаси $C_{\text{орг}}$ $t\text{-га}^{-1}$ у шарі ґрунту 0-0,25, м				
	Молоді ліси	Середньовікові ліси	Пристигаючі ліси	Стигли і перестійні ліси	Загалом по типу ґрунту
Бурі лісові середньоглибокі щебенюваті	43,44±6,75	48,26±6,32	50,92±2,02	–	46,71±6,42
Бурі лісові середньоглибокі середньозмиті щебенюваті	42,53±2,73	43,95±3,04	50,06	50,59	45,17±2,39
Бурі лісові середньоглибокі глеюваті щебенюваті	–	–	53,89	–	53,89
Бурі лісові опідзолені середньоглибокі глеюваті щебенюваті	48,57±4,21	–	–	63,93	51,64±5,34
Дерново-буроземні	42,04	42,08±0,45	–	–	42,06±0,3
Середні запаси за групами віку	45,01±5,62	46,07±4,71	50,06±1,92	57,44±6,49	

хідних Карпатах (Польща) запаси органічного Карбону у шарі ґрунту 0-0,40 м на висотах 575-1067 м. н. р. моря становлять: у ялинових лісах 56,62-224,61, у букових – 128,54-213,26 і 78,60-143,33 $t\text{-га}^{-1}$ у ялицевих лісах (Zielonka, et al., 2021). На території Парку «Баба Гора» (Польща) запаси $C_{\text{орг}}$ у ґрунті на глибині 0-1,00 м коливаються від 50,10 $t\text{-га}^{-1}$ до 905,20 $t\text{-га}^{-1}$ (Reyna-Bowen, et al., 2019).

Як видно з вище наведених даних, запаси органічного Карбону у ґрунті лісових екосистем Європи істотно відрізняються і залежать як від природних умов так і від вибору методики вимірювань. Наші результати в основному знаходяться в межах нижніх і середніх значень, отриманих у дослідженнях інших авторів. Зважаючи на схожі природні умови, особливо це стосується Західних Карпат і Судетів, і в основному переважання молодих і середньовікових лісів на території дослідження, лісові екосистеми Стрийсько-Сянської Верховини мають значний карбонодепонувальний потенціал у пулі «ґрунт».

В Українських Карпатах у лісових екосистемах середні запаси органічного Карбону для шару ґрунту 0-0,30 м сягають 122,20 $t\text{-га}^{-1}$ (Букаша, та ін., 2012). У бурих лісових ґрунтах Львівської області, які є модельними і для нашої території дослідження, вміст $C_{\text{орг}}$ у верхніх горизонтах досягає 3,5% і зменшується з глибиною до 0,7%, а вміст гумусу змінюється від 6,02% у верхніх горизонтах, до 1,15% у нижніх

(Позняк, ред., 2019). У лісових екосистемах Турківського і Сколівського адміністративних районів (тепер Самбірський і Стрийський) цей показник коливається в межах 2-9,46% (Голубець, ред., 2007).

В.Рожак у своїх дослідженнях на території Стрийсько-Сянської Верховини виявив, що запаси органічного Карбону у шарі ґрунту 0-0,20 м становлять 18,12-42,77 т-га⁻¹, а у шарі 0-0,5м – 34,67-71,73 т-га⁻¹ (Рожак, 2014).. О.Марисеквич і І. Шпаківська встановили, що середні запаси органічного Карбону у шарі ґрунту 0-0,5 м у Яблунському лісництві становлять 62,0 т-га⁻¹, а у інших досліджуваних лісництвах запаси середні $C_{\text{орг}}$ змінювалися в межах від 36,6-55,4 т-га⁻¹ (Шпаківська, Марисеквич, 2009). На території Верхньовисоцького лісництва (Стрийсько-Сянська Верховина) щільність органічного Карбону у ґрунті становить – 34,47-63,77 т-га⁻¹ (Pyzhyk, Shpakivska, 2019).

Порівнюючи отримані результати з матеріалами попередніх досліджень, які проводились на Стрийсько-Сянській верховині та суміжних з нею територіях Українських Карпат, можна зробити висновок, що отримані нами результати є близькими за своїми значеннями до матеріалів інших дослідників . Вони також потрапляють і в діапазони коливання значень запасів $C_{\text{орг}}$, вмісту гумусу і вмісту органічного Карбону у ґрунті.

Значна відмінність у ґрунтово-кліматичних умовах місцезростань тих самих деревних порід зумовлена висотною стратифікацією гірської системи Українських Карпат, експозицією схилів (північні і південні макросхили), що впливає на особливості проходження біогеохімічного циклу Карбону, буде впливати і його запаси у різних частинах Українських Карпат. Саме цим, на нашу думку, можна пояснити значну, більш як у 2,5 рази, різницю в середніх значеннях запасів $C_{\text{орг}}$, яка була отримана для району досліджень (46,83±6,99 т-га⁻¹) та середньою величиною для Українських Карпатах загалом 122,20 т-га⁻¹ (Букуша, та ін., 2012), хоча в принципі уявити собі середню величину для такої території практично нереально з огляду на різноманітність кліматичних умов та структури біогеоценотичного покриву такої значної за розміром гірської країни.

Загалом, отримані результати є репрезентативними і можуть бути використані в подальших дослідженнях Стрийсько-Сянської верховини і Українських Карпат загалом.

4.3. Фітомаса та її часова динаміка

Лісові масиви займають планетарну функціональну нішу в процесах реагування на зміну клімату, оскільки вони поглинають вуглекислий газ з атмосфери та утримують вуглець у фітомасі десятки й сотні років (Токар, et al., 2021).

Ліси є важливими накопичувачами вуглецю, вони постійно обмінюються CO₂ з атмосферою як завдяки природним процесам, так і діям людини. Розуміння участі лісів у парниковому ефекті вимагає кращого розуміння вуглецевого циклу на рівні лісу (IPCC 2001, 2001).

Карбонодепонувальна здатність лісових фітоценозів слугує одним із базових критеріїв потенційних можливостей забезпечення низьковуглецевого розвитку країни та виконання міжнародних зобов'язань у контексті Паризької кліматичної угоди (Василишин та ін.2021).

Важливою біосферною функцією лісових екосистем є також депонування органічного Карбону в компонентах фітомаси та фітодетриту. Одним із основних способів оцінки цієї функції на регіональному рівні є встановлення продуктивності лісових екосистем за запасами живої фітомаси, яка, окрім того, є підставою для встановлення економічного та екологічного потенціалу лісових екосистем, прогнозування кількості депонованого вуглецю та продукування кисню (Шпаківська, Рожак, 2013).

Лісові екосистеми є найбільшим поглиначами Карбону на планеті, тому управління цим процесом було визнано відносно економічно ефективною стратегією для компенсації викидів парникових газів (Canadell, Schulze, 2014).

Залежно від своїх характеристик і місцевих умов, ліси можуть відігравати різні ролі в кругообігу вуглецю: від чистих викидів до чистих поглиначів. Ліси поглинають вуглець, захоплюючи вуглекислий газ з атмосфери та перетворюючи його на біомасу за допомогою фотосинтезу. Поглинений вуглець потім накопичується у формі біомаси, лежачої деревини, підстилки та в лісових ґрунтах. Емісія вуглецю з лісових екосистем є результатом природних процесів (дихання та окислення), а також навмисних або ненавмисних результатів людської діяльності (наприклад, збирання врожаю, пожежі, вирубка лісів) (Carbon Sinks...).

За даними FAO, фітомаса є другим за величиною (у тропічних лісах першим) пулом органічного Карбону у лісових екосистемах після ґрунту (FAO 2020, 2020).

Одним із фундаментальних показників глобальних змін клімату, що мають практичне значення для людства, є зміна біотичної продуктивності наземних екосистем (Честных, и др. 2007). Тому її оцінювання потрібне для визначення економічного та екологічного потенціалу лісових екосистем, прогнозування кількості депонованого вуглецю та продукування кисню (Чорнобай, 2000).

Загальний запас фітомаси, накопиченої у лісах світу, сягає $196 \cdot 10^{10}$ т (Іванюк, 2009). Запас органічного карбону у біомасі лісів планети станом на 2005 рік становив 282650 млн т, при середніх запасах $71,5 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, а у лісах Європи цей показник є дещо нижчим – $43,9 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ (Paul, et al., 2006). В останні роки зростає інтерес до кількісної оцінки біомаси лісових екосистем та її потенційного запасу карбону у різних її компонентах (Lal, Follet, 1997).

Запаси фітомаси визначали на основі даних лісової таксації за 2007 р., для обрахунків використовували регресійні рівняння і кореляційні коефіцієнти для різних фракцій деревостанів (листя або хвоя, гілки, стовбур, коріння). Також визначали запас $C_{\text{орг}}$ у підрослі, підліску і надґрунтовому покриві.

Загальна площа вкритих лісовою рослинністю земель РЛП Надсянський станом на 2007 рік становила 2376,0 га. Найбільші площі посідають мішані ліси з переважанням ялини різного віку – 919,9 га. Чисті ялинові ліси займають площу 330,9 га,

букові–25 га, ялицеві – 16,3 га, вільхові – 15,2 га, а загальна площа соснових лісів становить 6,1 га. На не зімкнуті ліси (рідколісся) займають 279,2 га.

Загальний запас фітомаси зелених рослин, включаючи також рослини підрос-ту, підліску і надґрунтовий покрив, становить 129691,89 т (табл.4.7).

Запаси органічного карбону (мається на увазі запас у основних лісоутворюючих породах + підріст з підліском + надґрунтовий покрив) коливаються від 24,43 (не зімкнуті ліси (рідколісся)) до 234,03 т-га⁻¹ (букові ліси). Середні запаси органічного Карбону для даної території становлять 54,58 т-га⁻¹.

У таблиці 4.7 деревостани об'єднані у групи за складом деревостану і для кожної групи визначений середній вік. Проте у кожній групі деревостанів розкид по віку досить великий, приблизно від 10 до 80-100 років, тому при польових дослідженнях запаси можуть бути дещо вищими.

Звертаючись до даних з додатку В, ми бачимо, що показники щільності запасів С_{орг.} у деревостанах Яблунського лісництва коливаються від 12 до 281 т-га⁻¹, а близько 50-60 відсотків території займають ліси зі щільністю 12-99 т-га⁻¹.

У самих деревостанах основна частка маси органічного Карбону накопичена у стовбурі і становить 50,00-73,1 6%, далі йде коренева фітомаса у якій зберігається – 13,89-27,94 %, на фітомасу гілок припадає – 6,45-18,55 % С_{орг.}. Найменша частка органічного Карбону знаходиться у листі і хвої і становить відповідно 1,04-8,82 %. У рідколіссях і не зімкнутих лісах зберігається ця ж тенденція розподілу органічного карбону по фракціях фітомаси, проте частка органічного Карбону у листі і хвої тут сягає 14,22 % (табл. 4.7).

Використовуючи дані лісової таксації станом на 2007 рік, а також даних обліку рубок у Яблунському лісництві нами було розраховано можливий приріст фітомаси станом на 2017 і 2027 роки.

Нами встановлено, що станом на 2017 рік, порівняно з 2010 роком, запас органічного Карбону у фітомасі зріс до 207232,06 т, а на 2027 рік цей показник становитиме 284772,23 т (рис. 4.1).

За цей період середній приріст становив 3,10 т·С_{орг.} га⁻¹·рік. Середня щільність запасів органічного Карбону зросла з 52,42±45,44 т-га⁻¹ до 80,20±52,99 т-га⁻¹ у 2017 році і 112,34±61,83 т-га⁻¹ – у 2027 (див. дод Г). Ми тут спостерігаємо позитивну динаміку накопичення органічного Карбону у фітомасі, і хоч метод обраний нами для обрахунків і є дуже приблизний, через відсутність статистичних даних станом на 2017 рік він дає нам можливість приблизно оцінити можливий потенціал даного лісництва у накопиченні фітомаси і органічного Карбону.

Станом на 2020 рік у середньому в лісових екосистемах світу середня щільність фітомаси становила 149,3 т-га⁻¹, у Європі цей показник становив 107,9 т-га⁻¹, а щільність органічного Карбону відповідно становила 72,9 т-га⁻¹ і 53,6 т-га⁻¹ (FAO 2020, 2020).

У ялинових лісах центральної Європи, щільність запасів С_{орг.} становить 35,0-180,0 т-га⁻¹ (Mund, et al. 2002).

У лісових екосистемах Татр запаси органічного Карбону коливаються від 10 до понад 130 т-га⁻¹, в залежності від висоти над рівнем моря, експозиції схилу, ви-

Таблиця 4.7

Запаси органічного Карбону у фітомасі лісів Яблунського лісництва(РЛП «Надсянський»)

Породний склад лісів	Характеристика лісів			частка органічного Карбону у фракціях деревостану				запас Карбону в живій фітомасі					
	площа, га	середній вік, роки	листя (хвоя),%	пілки, %	стовбур, %	коріння, %	деревостан загалом, т	С, т/га	підстиг підлісок, т	надгнунтовий покрив, т	разом жива фітомаса, т	С, т/га	
Соснові													
	6,1	47,7	5,55	11,11	69,49	13,89	455,34	67,90	3,17	2,75	461,53	68,88	
Вільхові													
	15,2	45,8	1,70	6,45	73,16	18,69	583,79	41,82	20,95	6,84	603,18	43,14	
Ялинові													
	330,9	44,0	6,43	10,10	60,02	23,45	24769,70	74,86	51,20	148,91	24983,43	75,50	
Мішані з переважанням ялини													
	919,2	43,3	7,56	11,38	55,64	25,42	63945,49	69,57	59,31	413,64	64592,14	70,02	
Ялицеві													
	16,3	45,1	8,82	13,24	54,9	23,45	318,65	45,23	2,44	7,34	328,82	46,09	
Мішані з переважанням ялиці													
	784,1	31,9	8,82	13,24	50,00	27,94	25561,42	32,60	376,92	112,28	26050,42	33,22	
Букові													
	25,0	97,0	1,04	18,55	56,70	23,71	5754,09	230,16	3,97	47,03	5850,80	234,03	
Не зімкнуті ліси (рідколіся)													
	279,2	40,0	14,22	20,65	43,05	22,07	6662,68	23,86	119,02	39,67	6821,37	24,43	
Разом	2376,0 га												
Всього												129691,89 т	

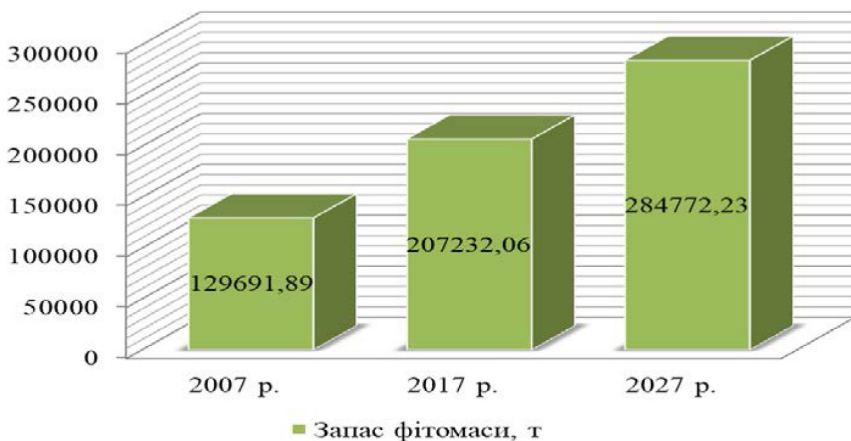


Рис. 4.1. Часова динаміка запасів фітомаси в період з 2007 по 2027 рік у Яблунському лісництві (РЛП «Надсянський»)

дового складу деревостану, фітосанітарного стану лісу та інших характеристик. Середній приріст органічного Карбону у фітомасі тут становить $2,58 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}$ (Копôрка, Šebeň, Pajčík, 2019).

У середньому щільність фітомаси в Українських Карпатах становить $220,6 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, а загальні запаси становлять $- 461,9\cdot 10^6 \text{ т}$ (Лакида, 2002). Середні запаси органічного карбону у фітомасі лісів Українських Карпат становлять $- 110,67 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ (Лакида, 2002, Криницький, Третяк, 2003). Середні запаси фітомаси у Карпатах у межах Львівської області становлять $192,5 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, а запаси $C_{\text{орг}}$ $- 95,7 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ (Василишин, Домашовець, 2008) На території Боринського лісництва запаси фітомаси у деревостанах становлять $- 95,9\text{-}194,4 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, приріст фітомаси тут становить $4,88 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}$ (Рожак, 2014). Щільність запасів $C_{\text{орг}}$ у фітомасі насаджень НПП «Сколівські Бескиди» $147\text{-}259 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ (на пробних площах), і $241 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ згідно даних лісової таксації (Токар, et al., 2021).

Загалом, отримані результати відображають загальні особливості накопичення органічного вуглецю у фітомасі як на території конкретної фізико-географічної області Українських Карпат, так і в межах Карпатського регіону загалом. Деяко нижчі показники запасів органічного вуглецю у фітомасі лісів території дослідження пояснюються тим, що деревостани в основному представлені молодняками і середньовіковими лісами, де запас фітомаси є нижчим. Проте, беручи до уваги запроваджений природоохоронний режим цієї території (створення НПП «Бойківщина» в 2019 р.), можна прогнозувати зростання запасів фітомаси, зумовлене збільшенням віку деревостанів за умови припинення лісгосподарських заходів і відсутності стихійних природних явищ.

Розділ 5. ВПЛИВ РУБАНЬ НА ЗАПАСИ ОРГАНІЧНОГО КАРБОНУ У ФІТОМАСІ

Лісові екосистеми є важливою складовою глобальної екосистеми – біосфери, оскільки впливають на газовий склад атмосфери та сприяють пом'якшенню глобальних змін клімату, асимілюючи вуглекислий газ у фітомасі. В 2021 р. Всесвітній день дикої природи проводився за темою «Ліси та засоби до існування: підтримання людей та збереження планети» з метою привернення уваги до ключової ролі лісів, збереження біорізноманіття та забезпечення екосистемних послуг в підтримці життєдіяльності сотень мільйонів людей планети. Однією з причин порушення екологічної рівноваги є вирубування лісів, яке зумовлює не тільки значні втрати органічного Карбону, але і втрати здатності лісу поглинати і депонувати Карбон (Пижик, Шпаківська, 2021).

За даними FAO масштаби вирубки і деградації лісів з початку 90-х років завжди і до тепер перевищують масштаби лісовідновлення, хоч інтенсивність вирубки лісів і зменшилась (FAO 2020, 2020). За даними різних вчених у наслідок вирубки лісів в атмосферу викидається близько 10-20% від усіх антропогенних викидів CO₂, а подекуди у тропічних лісових екосистемах фіксують переважання емісії CO₂ в атмосферу над його поглинанням з неї (Van der Werf, et al. 2009, Baccini, et al., 2017, Nabuurs, et al., 2007, Deforestation and Greenhouse, 2012). Цифри наведені вище говорять про значний вплив рубок на баланс органічного Карбону в лісовій екосистемі. Важливість лісової екосистеми також полягає у виконанні ролі найпотужнішого секвестратора парникових газів на суші (Tubiello, et al., 2021, Robert, Douglas, 1991). З 2018 року у Європі площа відновлених лісів перевищує площі рубань.

Як зазначають деякі автори вирубка лісів помірного поясу (сюди відносять і деревостани Українських Карпат), найменше впливає на глобальний баланс CO₂ (Tubiello, et al., 2021, Robert, Douglas, 1991). Але, зважаючи на особливості Карпатського регіону, вирубка лісу на схилах гір часто призводить до значної деградації або повного руйнування і інших пулів органічного Карбону – ґрунту, лісової підстилки (Pyzhyk, Shpakivska, 2019) і грубих деревних залишків, що в свою чергу веде до значної емісії парникових газів.

Як показують дослідження багатьох авторів вирубка лісів на значних площах також впливає і на особливості формування мікроклімату на даній території, перерозподілу вологи і тепла, що в свою чергу буде впливати на особливості формування нового рослинного покриву даної території, а також впливатиме і на сусідні ділянки (Van der Werf, et al. 2009, Baccini, et al., 2017, Nabuurs, et al., 2007, Deforestation and Greenhouse, 2012, Tubiello, et al., 2021, Robert, Douglas, 1991).. Зважаючи на особливості гірського рельєфу, площі рубок, які матимуть значний вплив на сусідні території, можуть бути значно менші ніж на рівнині. Яскравим прикладом такого впливу можуть бути значні повені у тих районах, де ведеться суцільна вирубка лісу на великих площах.

Дані про об'єми вилученої підчас рубок деревини також лягають в основу методики оцінки викидів та поглинання лісовими екосистемами Карбону, та оцінки ефективності лісів того чи іншого регіону у процесі регулювання клімату (Tubiello, et al., 2021).

Внесок лісів у кругообіг вуглецю слід оцінювати, беручи до уваги також використання заготовленої деревини, наприклад, вироби з деревини, які зберігають вуглець протягом певного періоду часу, або виробництво енергії з викидом вуглецю в атмосферу (Carbon Sinks...).

Оцінка втрат органічного Карбону проводилась на території Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати) У Яблунському лісництві у період з 2006 по 2016 рік, яке розташоване на території РЛП «Надсянський», що надає лісовим екосистемам природоохоронний статус і обмежує лісгосподарську діяльність. На території Яблунського лісництва проводять лише рубки догляду, вибіркові санітарні і за потреби суцільні санітарні рубки (табл. 5.1).

Загальна площа Яблунського лісництва становить 2498 га, вкриті лісовою рослинністю землі становлять 2337 га, а лісові культури становлять 44 % вкритої лісом площі (Львівське ОУЛМГ ДП, 2007).

Рубки були проведені на загальній площі 223,10 га, що становить 9,50% від загальної площі лісовкритих земель. На території Яблунського лісництва найбільш регулярними були рубки догляду, а у роки, коли проводились суцільні санітарні рубки, на них припадали найбільші втрати органічного Карбону, а саме 40-87% (див. табл. 4.1). За звітний період втрати $C_{орг}$ становили 1768,18 т (див. табл. 2), що становить 1,36% від накопиченого органічного Карбону станом на 2007 рік. У цей же період для порівняння у Верхньовисоцькому лісництві, яке є експлуатаційним, втрати органічного Карбону становили 8484,77 т (Пижик, Шпаківська, 2021), що становить 5,70% від його загальних запасів станом на 2007 рік (ще не опубліковані дані наших досліджень).

За літературними даними сучасні лісові екосистеми досліджуваної території в середньому за рік потенційно можуть давати приріст фітомаси – $7,79 \pm 2,13 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$, або у перерахунку на органічний Карбон – $3,90 \pm 1,07 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$ (Голубець, ред., 2007). При проведенні рубок головного користування і суцільних санітарних рубок на певній території даний потенціал деградує найбільше на відміну від

Таблиця 5.1

Вилучення органічного Карбону через проведення рубок у Яблунському лісництві ДП «Боринське ЛГ» (Стрийсько-Сянська Верховина, Українські Карпати) (Пижик, Шпаківська, 2021)

Роки	Вилучення органічного Карбону при різних посабах рубок; т									
	Суцільні	Поступові	Суцільні санітарні	Вибіркові санітарні	Освітлення	Прочищення і очищення від захащення	Проріджування	Реконструктивні	Лісовідновні	Разом за рік; т
2006	-	-	-	-	18,99	142,48	76,11	152,56	56,42	446,57
2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
2008	-	-	-	-	-	57,28	-	145,64	0,00	202,92
2009	-	-	-	-	12,92	26,77	-	-	194,87	234,56
2010	-	-	204,08	-	-	30,70	-	-	-	234,78
2011	-	-	101,55	-	-	43,17	-	32,24	-	176,96
2012	-	-	170,94	-	-	37,46	-	-	-	208,40
2013	-	-	-	-	-	32,58	23,88	-	-	56,46
2014	-	-	-	15,82	-	44,00	-	-	-	59,82
2015	-	-	57,86	45,54	-	-	44,32	-	-	147,72
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Разом по лісництву за всіма способами рубок (період 2006-2016 рр)								1768,18		

інших способів рубок, адже знищується сама лісова екосистема. Потенційно на даних площах приріст фітомаси у середньому міг становити у Яблунському лісництві близько $92,70 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}$, потенціал депонування органічного Карбону і $46,35 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}$ (за умовний рік – якщо вважати, що всі рубки даним способом відбулись в один рік). До порівняння у Верхньовисоцькому лісництві, яке є експлуатаційним за цей же період було вилучено $576,85 \text{ т}$ органічного Карбону (Пижик, Шпаківська, 2021). Також суцільні рубки можуть приводити до руйнування шару лісової підстилки і ґрунту, крім того у експлуатаційних лісах дуже часто знищується і супутня фітомаса яка не відноситься до ділової деревини, яку заготовляють (Pyzhyk, Shpakivska, 2019).

Проведена нами оцінка втрат органічного Карбону лісовими екосистемами внаслідок вирубок і порівняння даних з двох лісництв різної форми господарювання дає нам можливість оцінити позитивний вплив природоохоронного режиму території на запаси фітомаси. Цей позитивний вплив представлений відсутністю рубок головного користування так і зменшенням об'ємів рубок догляду.

Окрім цього, оцінка об'ємів рубок дає нам можливість краще оцінити баланс органічного Карбону на певній території і її карбонодепонувальний потенціал.

Проте ми повинні розуміти, що в такому регіоні як Українські Карпати, де значна частина сіл опалюється дровами є і незаконні рубки, які тут не оцінені і можуть внести корективи у дану оцінку. Всі ці незаконні рубки в основному пов'язані з соціально-економічними проблемами населення території з слабо освоєним великим туристичним потенціалом. Крім того поширені рубки пов'язані з заготовлею новорічних ялинок і незаконною заготовлею ділової деревини. В останньому випадку знищуються найбільш продуктивні деревостани, хоч і на малих площах.

Потреба людства в деревині не дає можливість виключити рубки лісу як вид лісогосподарської діяльності, навіть догляду, тому створення лісових культур і ведення лісового господарства на засадах сталого розвитку є надзвичайно актуальним для Українських Карпат. Такий підхід повинен розглядати ліси не тільки як сировинну базу для промисловості, але і як складну систему екосистему, що виконує ще безліч функцій і завдань як на регіональному так і на глобальному рівні. Тому вирубки і лісовідновлення повинні проводитись таким чином, щоб лісові екосистеми могли виконувати свої функції навіть після вилучення певної кількості фітомаси. З іншого боку, також є потреба у розбудові деревообробної промисловості на місцях для впровадження рішень, які будуть сприяти як найглибшому ступеню переробки деревних ресурсів, вторинному використанню готових виробів з деревини й тим самим позитивно впливатимуть на соціально-економічні показники розвитку території шляхом мінімізації масштабів незаконних рубок. На нашу думку, лише ефективний менеджмент у лісовому господарстві зможе забезпечити відповідний для території рівень секвестрування органічного Карбону біогеоценотичному покривом як території Стрийсько-Сянської верховини так і Українських Карпат загалом.

Розділ 6. ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ ЗАПАСІВ ОРГАНІЧНОГО КАРБОНУ У ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ РЛП «НАДСЯНСЬКИЙ»

Умовно запаси органічного Карбону в лісових екосистемах просторово можна розділити по двох напрямках – горизонтальному і вертикальному. В першому випадку мається на увазі розподіл запасів у вибраних пулах на певній території, тоді як вертикальний розподіл передбачає поділ на субстратні пули – ґрунт, лісова підстилка, грубі деревні залишки, фітомаса. На дослідних ділянках в межах Яблунського лісництва було проведено оцінку щільності органічного Карбону, а також оцінку запасів, щільності і розподілу по різних пулах органічного Карбону.

6.1. Оцінка щільності запасів органічного Карбону у ґрунті і мортмасі

На першому етапі на кожній дослідній ділянці було оцінено розподіл органічного Карбону у лісовій підстилці, грубих деревних залишках (мортмаса) і ґрунті, при цьому також було оцінену сумарну щільність вмісту $C_{\text{орг}}$ і внесок кожного пулу (табл. 5.1 – 5.3, рис. 5.1-5.3).

Щільність запасів органічного Карбону на досліджуваній території коливалася від 40,77 до 78,44 т·га⁻¹), тоді як середні запаси – 56,59±6,01 т·га⁻¹.

Середні запаси органічного Карбону у молодих лісах становили 53,65±5,51 т·га⁻¹ (табл. 5.1, рис. 5.1). У середньовікових деревостанах ці показники були дещо вищими - 57,00±6,90 т·га⁻¹ (табл. 5.2, рис. 5.2), а в пристигаючих і стиглих та перестійних деревостанах вони досягали максимальних величин - 56,64±5,08 т·га⁻¹ і 69,56±8,88 т·га⁻¹ відповідно (табл. 5.3. Рис. 5.3).

В досліджених компонентах лісових екосистем найбільша кількість органічного Карбону зосереджена в ґрунті, далі йде лісова підстилка і найменші запаси виявлені у грубих деревних залишках. Загалом, у пулі «ґрунт» зосереджено 83,19 % (від 73,4% до 91,8%) від усього сумарного запасу в цих пулах. На другому місці

за об'ємом запасів $C_{\text{орг}}$ була лісова підстилка, на яку припадає від 4,10% до 19,60% органічного Карбону (рис. 6.1-6.3 і табл. 6.1-6.3).

Проте на деяких пробних площах (№ 8,18, 23 і 25), запаси органічного Карбону вищі у грубих деревних залишках за рахунок їх досить значного накопичення на цих пробних площах, про що неодноразово згадувалося раніше. У грубих деревних залишках зосереджено найменші запаси органічного Карбону серед

Таблиця 6.1

Актуальні запаси органічного Карбону в компонентах лісових екосистем
Яблунського лісництва (РЛП «Надсянський»), молоді ліси (0-40 р.)

№ ДД	Склад доростану	Вік лісу, р.	Тип ґрунту	Запаси $C_{\text{орг}}$ $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$ у:		
				ґрунті (шар 0-0,25 м)	лісовій підстилці	грубих деревних залишках
8	9Яле1Бк	27	Бурі лісові опідзолені середньоглибокі глеюваті щебенюваті	40,16±1,68	2,88±0,16	5,18
9	10Яцб	30	Бурі лісові опідзолені середньоглибокі глеюваті щебенюваті	50,37±1,11	8,12±0,55	0,71
10	7Яцб3Бк+1Яв	30	Бурі лісові опідзолені середньоглибокі глеюваті щебенюваті	52,72±1,50	7,51±0,29	3,45
11	10Яцб	27	Бурі лісові опідзолені середньоглибокі глеюваті щебенюваті	51,04±1,12	2,27±0,17	1,47
14	6Яцб3Яле1Бк	34	Бурі лісові середньоглибокі середньозмиті щебенюваті	39,80±1,80	5,96±0,39	1,73
17	10Яц	23	Дерново-буроземні	42,04±2,34	7,62±0,52	0,86
19	5Яцб5Яле	28	Бурі лісові середньоглибокі середньозмиті щебенюваті	45,26±1,21	7,46±0,38	3,11
20	10Яцб	20	Бурі лісові середньоглибокі щебенюваті	40,13±1,54	9,97±0,48	0,86
21	6Яцб4Яле	15	Бурі лісові середньоглибокі щебенюваті	33,24±1,88	5,80±0,39	1,73
22	10ЯцбЯле	30	Бурі лісові середньоглибокі щебенюваті	43,80±2,85	6,45±1,12	5,35
24	8Яцб2Яле	23	Бурі лісові середньоглибокі щебенюваті	56,58±4,16	7,20±0,45	3,80

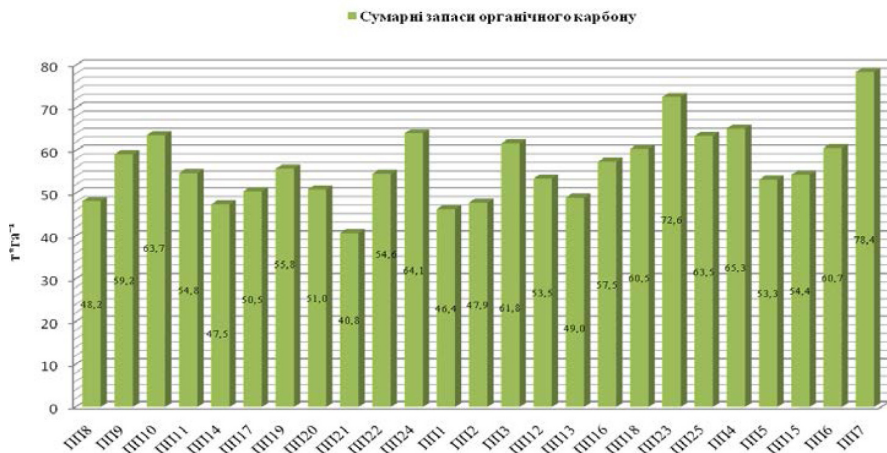


Рис. 6.1. Сумарні запаси органічного карбону у мортмасі і ґрунті на території Яблунського лісництва (РЛП «Надсянський»).

Таблиця 6.2

Актуальні запаси органічного Карбону в компонентах лісових екосистем Яблунського лісництва (РЛП «Надсянський»), середньовікові ліси (41-60 рр.)

№ ДД	Склад дєревостану	Вік лісу, р.	Тип ґрунту	Запаси С _{орг} т·га ⁻¹ у:		
				ґрунті (шар 0-0,25 м)	лісовій підстилці	грубих деревних залишках
1	10Яле	40	Дєрново-буроземні	42,52±2,29	2,05±0,14	1,78
2	8Яле2Яцб	46	Дєрново-буроземні	41,63±2,41	3,59±0,16	2,66
3	10Яцб	43	Бурі лісові середньоглибокі глеюваті щєбенюваті	53,89±1,41	7,01±0,60	0,86
12	9Яле 1Бк	40	Бурі лісові середньоглибокі щєбенюваті	39,25±1,13	8,10±0,68	6,16
13	5Яцб4Яле 1Бк+Яв	45	Бурі лісові середньоглибокі середньозмиті щєбенюваті	39,90±3,01	5,33±0,60	3,80
16	6Яцб4Бк	41	Бурі лісові середньоглибокі середньозмиті щєбенюваті	49,98±1,87	8,89±0,35	2,59
18	8Яцб2Яле	51	Бурі лісові середньоглибокі середньозмиті щєбенюваті	45,97±2,16	5,90±0,28	8,63
23	10Яцб+Яле	45	Бурі лісові середньоглибокі щєбенюваті	46,16±2,58	6,93±0,44	7,95
25	7Яцб3Яле	43	Бурі лісові середньоглибокі щєбенюваті	47,79±2,95	6,27±0,38	9,46

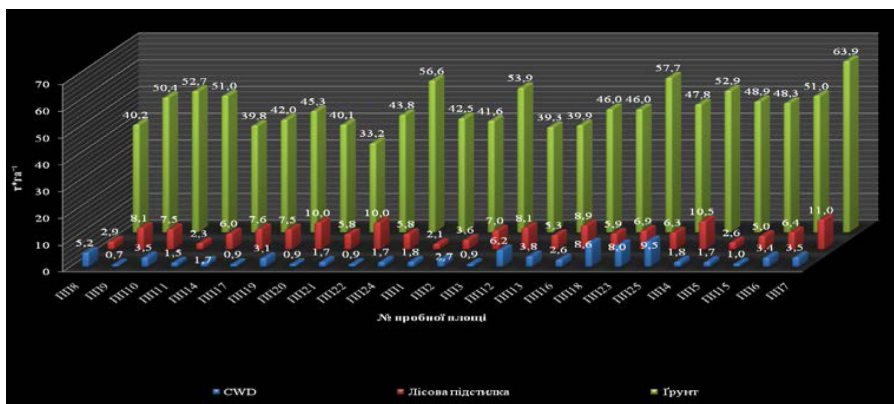


Рис. 6.2. Величина запасів органічного карбону у різних пулах лісових екосистем на території Яблунського лісництва (РЛП «Надсянський»)

Таблиця 6.3

Актуальні запаси органічного Карбону в компонентах лісових екосистем Яблунського лісництва (РЛП «Надсянський», пристигаючі (61-80 рр.) та стиглі й перестійні ліси (понад 80 р.)

№ ДД	Склад деревостану	Вік лісу, р.	Тип ґрунту	Запаси C _{орг} т·га ⁻¹ у:		
				ґрунті (шар 0-0,25 м)	лісовій підстилці	грубих деревних залишках
4	8Яцб1Ял1Бк	70	Бурі лісові середньо-глибокі щепенюваті	52,93±0,30	10,53±0,56	1,79
5	9Яцб1Яле	70	Бурі лісові середньо-глибокі щепенюваті	48,90±0,06	2,63±0,15	1,73
15	8Бк1Яц-б1Яцк	73	Бурі лісові середньо-глибокі середньозмиті щепенюваті	48,34±0,77	5,02±0,40	1,04
6	9Яцб1Бк	82	Бурі лісові середньо-глибокі середньозмиті щепенюваті	50,95±1,53	6,35±0,43	3,38
7	8Яцб2Бк	103	Бурі лісові опідзолені середньоглибокі глюєваті щепенюваті	63,93±1,74	11,04±0,38	3,47

досліджуваних пулів, у середньому на цей пул припадає 5,35%, а самі значення коливаються від 1,2% до 14,9%. Схожу диференціацію з найвищими показниками щільності запасів C_{орг} у ґрунті виявлено в інших дослідженнях (Рожак, 2014, Шпаківська, Марискевич, 2009, Рyzhyk, Shpakivska, 2019).

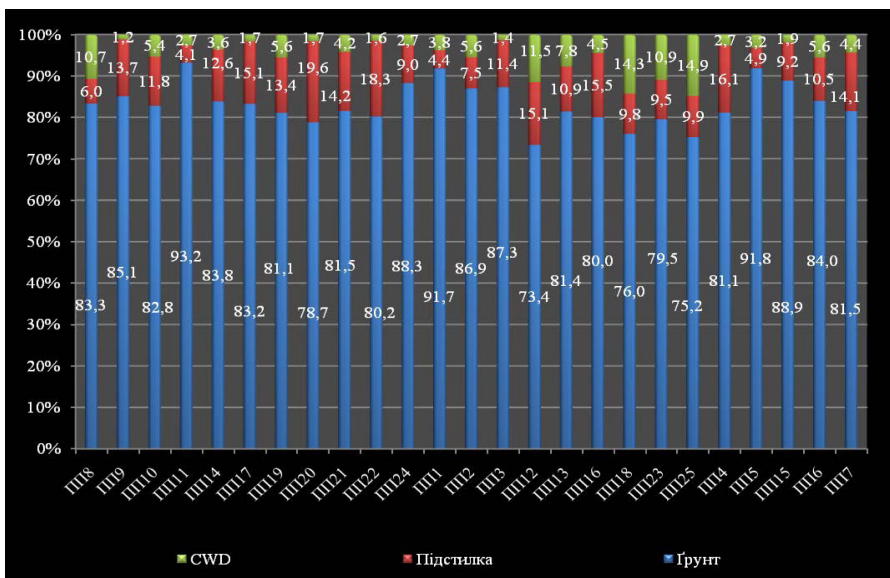


Рис. 6.3. Розподіл у запасів органічного Карбону у різних пулах лісових екосистем на території Яблунського лісництва (РПП «Надсянський»)

6.2. Просторовий розподіл і щільність запасів органічного Карбону у лісових екосистемах

На другому етапі досліджень проводилась оцінка запасів органічного Карбону в кожному виділі і на основі цих оцінок було обраховано середні дані для лісотаксаційного кварталу в фітомасі, ґрунті, лісовій підстилці і грубих деревних залишках. Після цього на основі цих матеріалів проводили оцінку просторового розподілу запасів органічного Карбону і його щільності.

Встановлено, що сумарні запаси органічного Карбону в фітомасі, ґрунті, лісовій підстилці дорівнюють 259889,09 т, з яких 129691,89 т Карбону (50%) накопичено у фітомасі. Другим за величиною є пул ґрунту (глибина 0-0,25 м), де акумульовано 112826,79 т $C_{орг}$ або 43% від сумарного запасу. На лісову підстилку і грубі деревні залишки (з урахуванням захарачення, сухоостою і вуглецю, накопиченого у пнях на ділянках, де проводили рубки) припадає відповідно 9757,49 т і 7612,94 т або 4 і 3% від сумарного запасу органічного Карбону в деревостанах території досліджень (Табл. 6.4).

Максимальні запаси органічного Карбону в розрахунку на один лісотаксаційний виділ Яблунського лісництва становили 9647,76 т у 93-річному ялицевому яличнику (7ЯлеЗЯцб), тоді як мінімальні (10,63 т) були зафіксовані в 12-річному

Таблиця б.4

Сумарні запаси органічного Карбону у лісових екосистемах
Яблунського лісництва РЛП «Надсянський»

№ кварта- лу	Запаси $C_{орг.}$ в основних пулах, <i>t</i>				Сумарні за- си $C_{орг.}$, <i>t</i>	Щільність $C_{орг.}$, <i>t-ga⁻¹</i>
	фітомаса	грунт шар 0-0,25 м	під- стилка	CWD		
1	8501,02	5472,89	585,28	363,24	14922,43	114,59±45,86
2	2311,91	4290,30	277,86	297,75	7177,82	92,40±45,52
3	5059,94	4768,40	363,17	328,66	10520,17	112,14±43,86
4	6549,26	5278,31	557,16	366,21	12750,95	113,35±50,89
5	3334,73	4022,29	390,96	290,46	8038,45	98,85±46,38
6	2005,98	1858,36	146,47	89,93	4100,73	89,95±40,35
7	7582,36	5507,99	625,77	356,21	14072,33	104,95±45,83
8	9187,27	5074,04	411,30	317,63	14990,23	132,56±31,33
9	7299,30	4309,84	392,07	269,54	12270,74	135,18±41,40
10	3641,78	2005,97	270,91	143,95	6062,61	148,35±22,83
11	8661,89	6802,37	761,44	487,55	16713,25	90,91±38,17
12	2949,32	3318,56	270,29	221,22	6759,39	91,29±40,80
13	8115,62	6626,61	643,49	475,95	15861,67	106,81±47,35
14	924,35	2223,62	171,31	164,66	3483,94	87,28±42,08
15	5101,99	5337,17	264,12	360,01	11063,30	104,04±49,00
16	3679,88	4060,95	277,96	268,85	8287,64	117,14±50,38
17	7364,94	6002,70	529,36	422,42	14319,42	114,01±57,05
18	9922,11	6151,02	464,43	403,81	16941,36	105,93±56,85
19	3941,95	4298,25	391,71	294,57	8926,47	112,60±49,37
20	3579,49	3204,47	252,41	216,57	7252,93	98,99±47,38
21	4843,87	5803,66	441,27	412,14	11500,94	93,47±38,69
22	7026,09	6015,66	382,07	378,88	13802,70	96,54±49,54
23	2676,35	6207,54	488,54	409,01	9781,44	94,59±50,99
24	5430,50	4185,82	398,12	273,72	10288,17	123,61±49,24
Для ліс- ництва загалом	129691,99	112826,79	9757,47	7612,94	259889,09	105,45±48,67

ялицевому яличнику (9Яле1Яцб). При цьому в першому випадку понад 60% накопиченого органічного Карбону припадало на фітомасу – 5926,56 т, а у другому випадку - на ґрунт (84%).

Тенденція щодо переважання запасів органічного Карбону в ґрунтах над запасами в фітомасі зберігається приблизно до досягнення деревостанами віку 30-40 рр., тобто для групи молодих лісів, після чого в середньовікових лісах запаси $C_{\text{орг}}$ у фітомасі починають переважати над запасами у ґрунті. Ця тенденція також підтверджує можливість лісового ґрунту довгий час зберігати значні запаси органічного Карбону, накопиченого в попередні роки. Це також підтверджено нашими польовими дослідженнями, адже на деяких дослідних ділянках, закладених в молодих деревостанах, запаси органічного Карбону у ґрунті сягали рівня середніх значень для лісів віком більше 60 років, а також утворювали оторфовані горизонти з високим вмістом $C_{\text{орг}}$. (Пижик, Шпаківська, 2020).

Загалом, потрібно зазначити, що оцінка сумарних запасів органічного Карбону для таких лісотаксаційних одиниць як квартал і вище є доволі суб'єктивною, адже вона істотно залежить від площі виділу, для якого проведено інструментальні дослідження. Це, зі своєї сторони, не дає можливості об'єктивно оцінити продуктивність деревостану, а як наслідок – величину його карбонодепонувального потенціалу. Так, наприклад, розглянемо два виділи, про які згадувалося вище. В перерахунку на площу конкретного виділу загальні запаси органічного Карбону в старовіковому деревостані перевищують аналогічні в молодому майже на три порядки. В той же час за розрахунку щільності запасів $C_{\text{орг}}$ на одиницю площі отримуємо значення $169,26 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ для старовікового лісу і $53,15 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ для молодого, тобто різниця між старовіковим і молодим деревостаном є триразовою. Отже, показник щільності запасів органічного Карбону дає більш точні уявлення про потенційні можливості лісової екосистеми депонувати $C_{\text{орг}}$.

Треба також усвідомлювати важливість розмірів площ, які займають деревостани різного віку й породного складу в лісовому покриві конкретних лісових підприємств чи територій природно-заповідного фонду, адже продуктивність є величиною, яка обмежена багатьма природними й антропогенними чинниками, що спричинює її зменшення. Так, наприклад, середня продуктивність корінних фітоценозів Турківського адміністративного району становить $1,49 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$, а похідних $0,72 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$ (Концептуальні..., 2007). Ці показники свідчать про те, що для поглинання і депонування тої ж кількості органічного Карбону площі сучасних трансформованих біогеоценозів мають бути у двічі більшими.

Запаси органічного Карбону в розрахунку на лісогосподарську одиницю також значною мірою будуть залежати як від площі виділу так і від продуктивності деревостанів в його межах.

Найбільше органічного Карбону накопичено в біогеоценотичному покриві 18 кварталу Яблунського лісництва – 16941,36 т або 6,51% від загальних запасів для усєї площі лісництва, за середньої щільності $105,93 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Мінімальні запаси $C_{\text{орг}}$ були зафіксовані в 14 кварталі і становлять 3483,94 т (1,26 від сумарних запасів $C_{\text{орг}}$).

Така ситуація, передусім, зумовлена площею цих кварталів: 18 квартал займає 124 га, тоді як 14 квартал в 2,3 рази є меншим і займає 54 га.

Середня щільність запасів органічного Карбону у межах лісотаксаційних кварталів у Яблунському лісництві змінюється в діапазоні від $87,28 \pm 42,08 \text{ т-га}^{-1}$ до $148,35 \pm 22,83 \text{ т-га}^{-1}$ (Табл. 6.1-6.3). При оцінці кожного окремого виділу ця величина варіюється від $45,01 \text{ т-га}^{-1}$ до $272,15 \text{ т-га}^{-1}$ (Додаток Г). Загалом по лісництву цей показник оцінений у межах $105,45 \pm 48,67 \text{ т-га}^{-1}$.

Розподіл запасів органічного Карбону у лісових екосистемах РЛП «Надсянський», характеризується найвищим рівнем його накопиченням у пулі фітомаса, далі іде ґрунт, лісова підстилка і грубі деревні залишки. В середньому у досліджуваних екосистемах на частку фітомаси припадає 56,97% запасів $C_{\text{орг}}$, на ґрунт – 36,68%, решта 3,92% і 2,43% від сумарних запасів органічного Карбону зконцентрована відповідно у лісовій підстилці і грубих деревних залишках.

В межах лісництва на пул фітомаси припадає від 27,36% до 60,07% від усіх запасів накопиченого тут органічного Карбону. На пул ґрунту припадає від 33,09% до 63,06%. При цьому майже у всіх лісотаксаційних кварталах частка $C_{\text{орг}}$ накопиченого у фітомасі є вищою. Лише у декількох кварталах частка від запасів органічного Карбону, які накопичені у ґрунті, є вищою (рис. 6.4). Провівши аналіз лісотаксаційних даних, ми встановили, що це може бути пов'язано з переважанням тут молодих лісів віком до 40 років і низькою продуктивністю старіших деревостанів, або розвитком захворювань чи івазією шкідників.

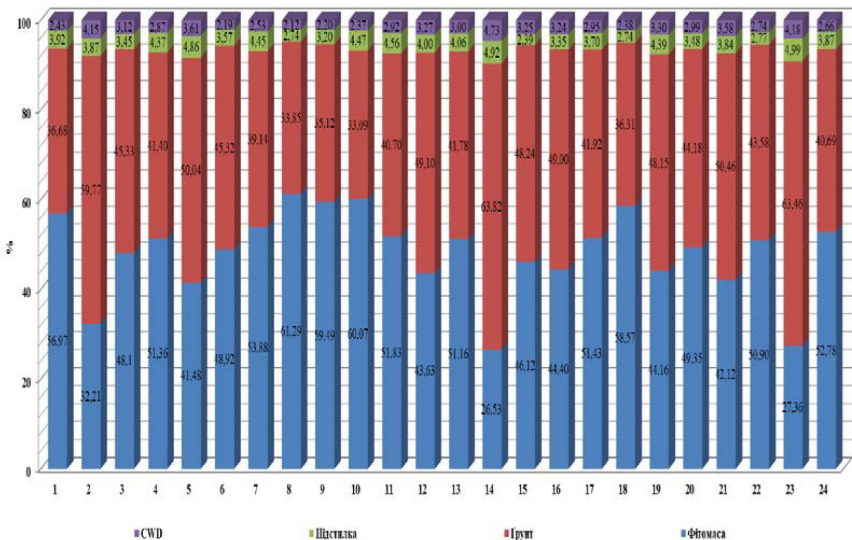


Рис. 6.4. Частка органічного Карбону в різних компонентах лісових екосистемах Яблунського лісництва РЛП «Надсянський»

У межах досліджуваної території на лісову підстилку припадає від 2,39% до 4,99% від усього накопиченого $C_{\text{орг.}}$. У пулі грубих деревних залишків зберігається від 2,12 до 4,73% від сумарних запасів органічного Карбону.

Загалом, такий розподіл з найвищим рівнем накопичення органічного Карбону у пулі фітомаси є типовим для даної території. На території Боринського лісництва (Стрийсько-Сянська Верховина) у фітомасі накопичується 52,3-71,3%, а на ґрунт припадає 23,7-30,5%, решта запасів зосереджено у фітодетриті (Рожак, 2014). У лісових екосистемах Східних Бескидів на частку органічного вуглецю фітомаси і ґрунту в середньому припадає 54,2% і 41,1% від сумарних запасів цього пулу, а решта 3,6% припадає на фітодетрит. В середньому для світу станом на 2020 рік FAO у своєму звіті про стан лісів наводять такий розподіл маси органічного Карбону – 44% припадає на фітомасу, 46% – на ґрунт, решта 10% на фітодетрит (FAO 2020, 2020).

ПІДСУМКИ

Внаслідок проведених досліджень на території РЛП «Надсянський» було оцінено загальні запаси органічного Карбону станом на 2007 рік, які сягають 259889,09 т за середньої щільності цього показника $105,45 \pm 48,67 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ (до розрахунку включено середні запаси $C_{\text{орг}}$ в ґрунті, лісовій підстилці, грубих деревних залишках і фітомасі). Для розрахунків у пулі «фітомаса» та «лісова підстилка» було використано матеріали лісової таксації за 2007 рік, тоді як для пулів «ґрунт» і «грубі деревні залишки» і дані отримані під час проведення польових інструментальних досліджень.

На підставі інструментальних даних, отриманих під час маршрутних досліджень, а також і матеріалів державної лісотаксації, можна зробити висновок, що на території, охопленої проведеним дослідженням, найвищі запаси органічного Карбону зафіксовані в фітомасі (56,97%), у ґрунті ця величина становить 36,68, підстилці - 3,92 і в грубих деревних залишках 2,43% від загальних запасів $C_{\text{орг}}$. Проте на окремих ділянках, де зосереджені молоді або сильно пошкоджені деревостани, ґрунтовий пул органічного Карбону переважає над пулом «фітомаса».

Стосовно ґрунтового пулу, то варто відзначити, що в проведеному дослідженні враховувався лишень 0-0,25-м шар ґрунту, тому за умови відбору й аналізу зразків з повного профілю, який на дослідженій території сягає 0,65 м, співвідношення запасів органічного Карбону між пулами «фітомаса» і «ґрунт» може змінюватися за рахунок зростання депонування вуглецю власне в ґрунті.

За період з 2006 року по 2016 рік в результаті рубок різних способів з лісових екосистем території досліджень було вилучено 1768,18 т органічного Карбону, що становить 1,36% від усього накопиченого органічного Карбону станом на 2007 рік. На територіях, де проводили суцільні санітарні рубки, втрати карбонодепонуального потенціалу становили $46,35 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}$.

Загалом, запаси $C_{\text{орг}}$ у лісовій підстилці переважно є вищими порівняно з грубими деревними залишками. Протилежна картина спостерігалася лишень у випадку прояву хвороб лісу, інвазії шкідників, стихійних природних явищ (вітроломи, сніголоми тощо). Запас грубих деревних залишків також зростає з віком деревостанів і у старовікових лісах, спостерігається ситуація, коли запаси мертвої деревини в декілька разів перевищують запаси підстилки. Для зрубів у межах території дослідження запаси органічного Карбону у пнях оцінено в 24,78 т органічного Карбону, що становить 0,33% від запасів $C_{\text{орг}}$ у пулі «грубі деревні залишки».

Станом на 2017 рік запас органічного Карбону у фітомасі деревостанів Яблунського лісництва РЛП «Надсянський» зріс до 207232,06 т, а на 2027 рік цей показник може досягти 284772,23 т за умови збереження природоохоронного режиму й відсутності негативних природних явищ.

Загалом отримані дані узгоджуються з дослідженнями інших вчених і відображають закономірності розподілу формування запасів органічного карбону у різних пулах лісових екосистем конкретної гірської території. Результати виконаного дослідження можуть бути використані як працівниками лісового господарства, так і природоохоронних установ для реалізації заходів, спрямованих на впровадження засад сталого лісокористування й розрахунку екосистемних послуг лісових екосистем в Карпатському регіоні України.

ПОДЯКИ

Висловлюємо щирю подяку працівникам Яблунського лісництва, за допомогу у проведенні польового етапу робіт.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Токар, О.Є., Король, М.М., Шпаківська, І.М., Дичкевич В.М., Токар О.І. (2014). Визначення запасів вуглецю у фітомасі лісових насаджень із використанням інформаційних технологій. *Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. й Львів : РВВ НЛТУ України, Вип. 24.4.* 351-358.
2. Акімов, І.А. (ред.). (2009). *Червона книга України. Тваринний світ.* /К. : Глобалконсалтинг, 2009.
3. Алексеев, В.А., Бердси Р.А. (ред.). 1994. *Углерод в экосистемах лесов и болот России.* Красноярск: ВК СО РАН.
4. Андріанов. М. С. (1968) Клімат. Геренчук, К. І., (ред). *Природа Українських Карпат.* (с.87-101). Вид-во Львів. ун-ту,
5. Андрущенко, Г. О. (1970). *Грунти західних областей УРСР. Частина 2.* Львів-Дубляни: Видавництво Львівського Сільськогосподарського Інституту.
6. Аристовская Т. В. (1980). *Микробиология процессов почвообразования.* Л. : Наука.
7. Багаутдинов, Ф. Я. (1994). Обновление компонентов гумуса серой лесной почвы и черназема типичного при длительной гумификации меченных по углероду растительных остатков. *Почвоведение, №2.* 50-56.
8. Базилевич, Л. Е. (1971). Биологическая продуктивность и круговорот элементов в растительных сообществах. *Лесоведение.* 5-32.
9. Барбарич, А.І. (ред.). (1977). *Геоботаничне районування Української РСР.* К.: Наук.думка.
10. Башта, А.-Т.В., Канарський Ю.В., Козловський, М.П. (ред.). (2013). *Рідкісні та зникаючі види тварин Львівської області.* Львів: Ліга-Прес.
11. Бедернічек, Т. Ю., Гамкало, З. Г. (2014). *Лабільна органічна речовина ґрунту, теорія, методологія, індикаторна роль.* Київ: Видавництво Кондор.
12. Білоус, А. М. (2014). Методика дослідження мортмаси лісів. *Біоресурси і природокористування. Т. 6. № 3-4,* 134–145.
13. Брусак В.П., Кричевська Д.А. (2019). Ландшафтна і басейнова структура Надсянського регіонального ландшафтного парку як основа його функціонування. *Міждисциплінарні інтеграційні процеси у системі географічної та екологічної науки.* Мат.міжнар. наук.-практ.конф., присвяченої 25-річчю відкриття спеціальності «Екологія» у ТНПУ ім. В.Гнатюка (7-8 травня 2019 р., Тернопіль). 72-76.
14. Букша І. Ф., Пастернак В. П., (2005). *Інвентаризація та моніторинг парникових газів у лісовому господарстві.* Харків: вид-во ХНАУ.
15. Букша, І. Ф., Распоніна, С. П., Пастернак В. П. (2012). Запаси органічного вуглецю в лісах та підстилках на ділянках моніторингу лісів. *Лісівництво і агро меліорація. Вип. 120.* Харків УкрНДЦЛГА. С. 106-112.
16. Важенина, И. Г., (ред.). (1974). *Методы определения микроэлементов в почвах, растениях и водах.* Москва: Изд-во «Колос».

17. Василюшин, Р. Д., Лакида, М.О., Мельник, О.М., Лакида, І.П., Римаченко Ю.П. (2021). Органічний вуглець у рослинній біомасі лісів Київської області. *Український лісо- і деревознавчий журнал. Лісова екологія та довкілля*, Том. 12, № 3, 63-71. <https://doi.org/10.31548/forest2021.03.005>
18. Ведрова Э. Ф., Плешиков, В. Я., (2002). Структур органического вещество северо-таежных экосистем Средней Сибири. *Лесоведение*. 30-42.
19. Геренчук К. А. (ред.). (1972). *Природа Львівської області*. Львів: видавництво ЛНУ.
20. Голубец, М. А., Одинак, Я. П., Чорнобай, Ю. Н., и др. (1989). Особенности деструкционных процессов в лесных экосистемах Карпатского региона. *Механизмы биотической деструкции органических веществ в почве: чтения памяти акад. В.Н. Сукачева. Вып. VII*, 62–86.
21. Голубец, М. А., Борсук, Д. В., Гаврилюк, М. В., и др. (1983) *Биогеоценотический покров Бескид и его динамические тенденции*. К.: Наук. думка.
22. Голубец, М.А., Малиновский, К.А., Стойко С.М. (1965) *Геоботаническое районирование Украинских Карпат*. Докл. и сообщ. львовского отдела геогр. общества УССР. 1965.
23. Голубец, М. А. (1975) Загальні закономірності нагромадження фітомаси в смерекових Лісах. У Голубец, М. А., Половников, Л. І. *Біологічна продуктивність смерекових лісів Карпат* (4-68). Київ.
24. Голубец, М.А. (ред.). (2007). Концептуальні засади сталого розвитку гірського регіону. Львів: Поллі.
25. Горошко, М.П., Портах, С.В. (2014). Об'ємна структура стовбурів Ялиці Білої у модальних лісових насадженнях Українських Карпат: порівняльний аналіз. *Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць Наукові праці Лісівничої академії наук України*, №12, 120-125.
26. Данилюк, К. (2012). *Флора судинних рослин регіонального ландшафтного парку «Надсянський»*. – К.: Наук.думка.
27. Дідух, Я. П. (ред.). (2009). *Зелена книга України*. К.: Альтерпрес.
28. Дідух, Я. П. (ред.). (2009). *Червона книга України. Рослинний світ*. К. : Глобалконсалтинг.
29. Домашовець, Г. С. (2008). *Зональна біопродуктивність лісів Львівщини та її динаміка*. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук: спец. 06.03.02. Київ. 25 с.
30. Іванюк Г. С. (2009) *Біопродуктивність ґрунтів. Навчальний посібник*. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І.Франка.
31. Карабчук, Д., (2014). Надземна фітомаса дерев Ялини Європейської в природних лісостанах. *Вісник Львівського університету. Серія географічна, Випуск 45*, 150–158.
32. Карначевский Л.О. (1968). Методика учета запасов лесных подстилок. *Лесоведение*, № 3. 73-79.
33. Карпачевский, Л.О. (1981). *Лес и лесные почвы*. М.: Лесная промышленность.
34. Комиссарова, И.Ф. (1986). Выделение CO₂ из почв лесных биогеоценозов Восточного Сихотэ-Алиня. *Почвоведение*, № 5. 100-108.
35. Кошурникова, Н.Н. (2006). *Бюджет углерода в темнохвойных лесах южной тайги*. автореф. дис. на соискание учен. степени канд. биол. наук : спец. 03.00.16 «Экология». Красноярск.
36. Криницький, Г., Третяк, П. (2003). Стан лісів Українських Карпат, екологічні проблеми та перспективи. *Праці Наукового товариства ім. Шевченка Екологічний збірник. Екологічні проблеми Карпатського Карпатчквский И. О., (1965). Методика учета запасов лесных подстилок. Лесоведение, № 3Т. XII, 54-65.*
37. Кудеяров, В. Н., Заварзин, Г. А., Благодатский, С. А., и др. (2007). *Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России*. М. Наука.

38. Лакида, П. І. (2002). *Фітомаса лісів України: монографія*. Тернопіль: Видавництво Збруч.
39. Лакида, П.І. (2011). *Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України*. К. : Вид. дім «ЕКО-інформ»
40. Лакида, П.І., Швиденко, А.З., Щепашенко Д.Г., Василишин Р.Д., Білоус А.М., Лакида І.П., Матушевич, Л.М. (2013). Біотична продуктивність лісів України в європейському екоресурсному вимірі. *Біоресурси і природокористування. ТОМ 5, № 5-6*. Відновлено з <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Bio/article/view/3264>
41. Леневиц, О.І., Марискевич, О.Г., (2015). Особливості нагромадження лісової підстилки на туристичних маршрутах (НПП «Сколівські Besкиди», Українські Карпати) *Наукові основи збереження біотичної різноманітності, Т. 6 (13). №1*, 305-316.
42. Львівське ОУЛМГ ДП «Боринський Лісгосп» Дані статистичної звітності по лісгосподарських заходах Яблунського лісництва за період з 2006 по 2016 рік. с. Бориня
43. Львівське ОУЛМГ. (2007). Львівська область ДП «Боринський Лісгосп» Яблунське лісництво. Таксаційний опис земельних ділянок лісового фонду за станом на 01.01.2007 року.
44. Львівське ОУЛМГ. (2012). Львівська область ДП «Боринський Лісгосп» Яблунське лісництво. Уточнений таксаційний опис земельних ділянок лісового фонду за станом на 01.01.2012 року.
45. Марискевич О.Г., Шпаківська І.М. (ред). (2012). *Атлас поширення видів Червоної книги України на території регіонального ландшафтного парку «Надсянський»*. Ред.– Львів,
46. Марискевич, О., Шпаківська, І., Данилюк, К. та ін. (2020). *Рідкісні види рослин і тварин регіонального ландшафтного парку «Надсянський»*. – Львів.
47. Марисревич, О. Г. (2013). Проведення спеціальних заходів, спрямованих на запобігання, знищення чи пошкодження природних комплексів територій та об'єктів природо-заповідного фонду РЛП «Надсянський». *Звіт(заключний) про виконання робіт у рамках реалізації природоохоронного заходу*. Львів, ІЕК НАН України.
48. Мателешко, О.Ю., Потіш, Л.А. (ред.). (2011). *Червона книга Українських Карпат. Тваринний світ*. Ужгород: Карпати.
49. Мельник, А. В. (1999). *Українські Карпати: еколого-ландшафтознавче дослідження*. Львів: Логос.
50. Мухортова, Л. В. (2001). *Запас и трансформация органического вещества почв под лесными культурами*. Автореф. дис. на соискание учен. степени канд. биол. наук : спец. 03.00.16 «Экология». Красноярск.
51. Назарук М. М. (ред). 2018. *Львівська область: природні умови та ресурси*. Львів: видавництво Старого Лева.
52. Никитин, Б.А., (1983). Уточнение к методике определения гумуса в почве. *Агрехимия, № 8*, 18-26.
53. Оленчук, Я., Николин, А. (1969). *Грунти Львівської області*. Львів : Вид-во «Каменяр», 1969.
54. Панас Р. М. (2009). *Ґрунтознавство. Навчальний посібник*. Львів: Видавництво Новий Світ-2000.
55. Пастернак, В. П. (2011). *Біопродуктивність лісів північного сходу України в контексті змін клімату*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. с.-г. наук: спец. 06.03.02., 06.03.03. Київ.
56. Пижик, І. С., Шпаківська, І. М. (2018). Запаси органічного вуглецю умортмас лісових екосистем регіонального ландшафтного парку «Надсянський» (Українські Карпати). *Біологія та валеологія: збірник наукових праць ХНПУ ім. Г. С. Сковороди, №20*, 35–42. <http://doi.org/10.5281/zenodo.2543583>
57. Пижик, І.С., Шпаківська, І.М, (2021). Втрата органічного карбону при проведенні рубок

- у лісах різної категорії господарювання на території Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати). *Збереження рослин у зв'язку зі змінами клімату та біологічними інвазіями: матеріали міжнародної наукової конференції*. Біла Церква. 106-101
58. Позняк С. П. (ред.). (2019). *Ґрунти Львівської області : колективна монографія*. Львів: ЛНУ імені Івана Франка
 59. Родин, Л.Е., Базилевич, Н.И. (1965). *Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара*. Москва: Наука.
 60. Рожак, В. П. (2014). Особливості формування запасів мертвої деревини в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати). *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія, 2014. Вип. 2 (59)*. 18–24.
 61. Рожак, В.П. (2014). Пули і потоки вуглецю в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати). *Біологія та валеологія: збірник наукових праць ХНПУ ім. Г. С. Сковороди, № 16*, 85-95.
 62. Рожак, В.П., Шпаківська, І.М., Папіш, М.І. (2017). Запаси та структура грубих деревних залишків та їх роль у формуванні резервуару органічного карбону в лісових екосистемах Карпатського НПП. *Наукові основи збереження біотичної різноманітності, Том 8(15), № 1*, 83-96.
 63. Скородумов, А.С. (1939) Определение толщины лесной подстилки. *Лесное хозяйство : межвуз. сб. научн. тр., № 12*, 41–47.
 64. Стороженко, В. Г. (2001). Датировка разложения крупных древесных остатков в лесах различных природных зон. *Лесоведение, № 1*. 49-53.
 65. Стрямець, О.С., Бунь, Р.А., Стрямець С.П., Данилів Р.І. (2015). Георозподілений аналіз поглинань та емісії парникових газів Польських Карпат. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі*. 476-482
 66. Тасенкевич Л. (2003). Розмаїття флори судинних рослин в Українських Карпатах. *Праці Наукового товариства ім. Шевченка. XII: Екологічний збірник. Екологічні проблеми Карпатського регіону*. 147-157.
 67. Тасенкевич, Л.О. (2004). Регіональний фітогеографічний поділ Карпат// *Наук. зап. Держ. природозн. музею НАН України. Т. 19*. 29–39.
 68. Тасенкевич, Л., Калінович, Н., Сорока, М., Борсукевич, Л., Данилюк, К., (2015). *Рідкісні та зникаючі види рослин Львівщини. 2-ге вид., випр., допов.* Львів.
 69. Титлянова, А. А., Базилевич, Н. И., Снытко, В. А., и др. (1988) *Биологическая продуктивность травяных экосистем*. Новосибирск: Наука. Сиб. отд.
 70. Титлянова, А. А., Кудряшова, С. Я., Якушин, М. В. (1999). Запасы лабильного углерода в экосистемах Западной Сибири // *Почвоведение, № 3*. 332–341.
 71. Титлянова, А. А., Кудряшова, С. Я., Якушин, М. В. (1999). Запасы лабильного углерода в экосистемах Западной Сибири. *Почвоведение, № 3*. 332-341.
 72. Токар, О. Є. (2015). *Інформаційна технологія дослідження стоку вуглецю в лісових екосистемах*. Автореф. дис. на здобуття ступеня канд. тех. наук: спец. 05.13.06. Львів.
 73. Уткін А.И., Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н. и др. (1997). Определение запасов углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионно-объемного методов. *Лесоведение, №5*. 51 - 66.
 74. Ушакова, Г. И. (2000). Влияние экологических условий на скорость и характер разложения лесной подстилки (Кольский полуостров). *Почвоведение, № 8*. 1009–1015.
 75. Ушакова, Г. И., (2000). Влияние экологических условий на скорость и характер разложения лесной подстилки (Кольский полуостров). *Почвоведение, № 8*.1009-1015.
 76. Федоров-Давыдов, Д. Г. (1998). Дыхательная активность тундровых биогеоценозов и почв Колымской низменности. *Почвоведение, №3*. 291-301.

77. Честных О.В., Лыжин В.А., Кокшарова А.В. Запасы углерода в подстилках лесов России. *Лесоведение*, № 6, 114–121;
78. Чорнобай, Ю. М. (2000). *Трансформація рослинного детриту в природних екосистемах*. Львів: ДПМ НАН України.- 352 с.
79. Шпаківська, І. М. (2004). *Дихання ґрунту в екосистемах бореального ряду на верхній межі лісу Чорногори (Українські Карпати)*. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец. 03.00.16 «Екологія». Дніпропетровськ, 2004. – 20 с.
80. Шпаківська, І. М. (2008). Водорозчинний вуглець у ґрунтах наземних екосистем Сколівських Бескидів (Українські Карпати). *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.*, № 48. 89–96.
81. Шпаківська, І. М., Марискевич О. Г. (2009). Оцінка запасів органічного вуглецю в лісових екосистемах Східних Бескидів. *Вісник УкрНДІЛГ Лісівництво і Агроеміорація*, № 115, 176–180.
82. Шпаківська, І. М., Марискевич О. Г. (2009). Оцінка запасів органічного вуглецю в лісових екосистемах Східних Бескидів. *Вісник УкрНДІЛГ Лісівництво і Агроеміорація*. 2009. № 115, 176–180.
83. Шпаківська, І.М., Рожак, В.П. (2013). Особливості формування запасів фітомаси лісових екосистем Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати). *Науковий вісник НЛТУ України. Лісове та садово-паркове господарство*, Вип. 23.18, 9-17
84. Шумаков, В. С., (1979). *Методические рекомендации по определению запасов лесной подстилки и ее зольности при лесоводственных исследованиях*. Москва
85. Щербак, Н. Н. (1988). Зоогеографическое деление Украинской ССР. *Вестник зоологии*. №3. 22-31.
86. Alban, D. H., Pastor, J. (1993). Decomposition of aspen, spruce and pine boles on two sites in Minnesota. *J. Can For. Res.*, № 23. 1744-1749.
87. Vaccini, A.W. Walker, L. Carvalho, M. Farina, D. Sulla-Menashe, R.A. Houghton. (2017). Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. *Science*, 358 (6360), pp. 230-234 <https://doi.org/10.1126/science.aam5962>
88. Baritz, Rainer & Seufert, Günther & Montanarella, Luca & Van Ranst, Eric. (2010). Carbon concentrations and stocks in forest soils of Europe. *Forest Ecology and Management*. 260. 262-277. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.03.025>.
89. Vedernichek, Tymur. (2017). Резервуари і потоки карбону у наземних екосистемах України. *Вісник НАН України*. 1. 98-106. doi: <https://doi.org/10.15407/visn2017.01.098>
90. Boyer, J.N., Groffman, P.M. (1996). Bioavailability of water extractable organic carbon fractions in forest and agricultural profiles. *Soil Biol. Biochem*, Vol. 28. № 6. 783–790.
91. Canadell, J., Schulze, E. (2014) Global potential of biospheric carbon management for climate mitigation. *Nat Commun* 5, 5282. <https://doi.org/10.1038/ncomms6282>
92. Carbon Sinks and Sequestration. UNECE. Retrieved from <https://unece.org/forests/carbon-sinks-and-sequestration>
93. D'Amore, D., Kane, E., (2016). Climate Change and Forest Soil Carbon. *Department of Agriculture, Forest Service, Climate Change Resource Center*. www.fs.usda.gov/ccrc/topics/forest-soil-carbon
94. Deforestation and Greenhouse Gases (2012) Retrieved from <https://www.cbo.gov/publication/42686?index=12553#section0>
95. Delmas R.A., Servant J., Tathy J.P., Cros B. & Labat M. (1992). Sources and sinks of methane and carbon dioxide exchanges in mountain forest in equatorial Africa. *JGR Atmospheres*: 97: 6169-6179. <https://doi.org/10.1029/90JD02575>
96. Dudley N., Vallauri E., Vallauri D. Мертва деревина – живі ліси. *WWF Report*. 2004. 16 с.
97. FAO 2015. *Soil Organic Carbon: the hidden potential*. (2015). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy
98. FAO 2017. *Soil Organic Carbon: the hidden potential*. (2017). Food and Agriculture

99. FAO and ITPS. (2021). *Recarbonizing global soils: A technical manual of recommended management practices. Volume 2: Hot spots and bright spots of soil organic carbon*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb6378en>
100. Galicja na józefińskiej mapie topograficznej 1779-1783. T.5. Część A. Sekcje 88-93, 102-108, 133-142 / Die Josephinische Landesaufnahme von Galizien 1779-1783. Band 5. Teil A. Sektionen 88-93, 102-108, 133-142. – (2014). Kraków: Polska Akademia Nauk. Instytutu Historii imienia Tadeusza Manteuffla, Stacja Naukowa w Wiedniu. Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie. Instytut Historii.
101. Giweta, M. (2020). Role of litter production and its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: a review. *Journal of Ecology and Environmentj ecology*. №44:11. <https://doi.org/10.1186/s41610-020-0151-2>
102. Grüneberg E, Ziche D, Wellbrock N (2014) Organic carbon stocks and sequestration rates of forest soils in Germany. *Glob Change Biol* 20:2644–2662. <https://doi.org/10.1111/gcb.12558>
103. Harmon, M.E., Sexton J. Guidelines for Measurements of Woody Detritus in Forest Ecosystems. *U.S. LTER*. 1996. Publication No. 20. Network Office: University of Washington, Seattle, WA, USA. 73 p.
104. Harmon, Mark & Krankina, Olga & Sexton, Jay. (2011). *Decomposition vectors: A new approach to estimating woody detritus decomposition dynamics*. Canadian Journal of Forest Research. 30. 10.1139/cjfr-30-1-76.
105. Herrmann, S., Kahl, T. & Bauhus, J. (2015). Decomposition dynamics of coarse woody debris of three important central European tree species. *For. Ecosyst.* 2:27. <https://doi.org/10.1186/s40663-015-0052-5>
106. Hock, R., G. Rasul, C. Adler, B. Cáceres, S. Gruber, Y. Hirabayashi, M. Jackson, A. Kääh, S. Kang, S. Kutuzov, A. Milner, U. Molau, S. Morin, B. Orlove, and H. Steltzer, (2019): High Mountain Areas. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* pp. 131–202. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/06_SROCC_Ch02_FINAL.pdf
107. Holeksa, J., Zielonka, T., Zywiec, M., (2008). Modeling the decay of coarse woody debris in a subalpine Norway spruce forest of the west Carpathians, Poland. *Can. J. Forest Res.* 38, 415–428.
108. IPCC 1995. (1995) *Technical Summary. Intergovernmental Panel on Climate Change*. WMO, Geneva, Switzerland, 44 pp
109. IPCC, 2001: (2001) *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. *Cambridge University Press*. 881pp. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
110. Kern J.S. Turner D.P., Dodson R.F. Spatian patterns of soil organic Carbon pool size in the Northwestern United States . *Soil processes and carbon cycle / edited by R. Lal ... [et al.]* 1997. CRC Press LLC. P. 29-43.
111. Konôpka, B., Šeňeň, V., Pajtík, J., (2019) Species composition and carbon stock of tree cover at a postdisturbance area in Tatra National Park, Western Carpathians. *Mountain Research and Development*. 39:71–80. URL: <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-19-00008.1>
112. Korzeniak, J., Kucharzyk, S. (2016). Zmiany w szacie roślinnej od połowy XIX w. do czasów współczesnych. *Bojkowszczyzna Zachodnia – wczoraj, dziś i jutro. T.1.* (225–260). Jacek, W. (red). Warszawa: PAN IG i PZ.
113. Krankina O. N. Harmon, M. E., Griazkin, A. V. (1999). Nutrient stores and dynamics of woody detritus in a boreal forest: modeling potential implications at the stand level. *Can. J. For. Res.* № 29. 20-32.

114. Kubijowicz, W. (1929). *Życie pasterskie w Beskidach Wschodnich*. Prace Instytutu Geograficznego Uniwersytetu Jagiellońskiego. Zeszyt V.
115. Laiho, R., Presscott, C. E. (1999). The contribution of coarse woody debris to carbon, nitrogen, and phosphorus cycles in three Rocky Mountain coniferous forests. *Can. J. For. Res.*, № 29.1592-1603.
116. Lakida P. Estimation of forest phytomass for selected countries of the former European U.S.S.R. / P. Lakida, S. Nilsson, A. Shvidenko // *Biomass and Bioenergy*. – 1996. – Vol. 11. – No. 5.– Pp. 371-382.
117. Lal R., Kimble J., and Follet R.F. Pedospheric processes and the Carbon Cycle. *Soil processes and carbon cycle* / edited by R. Lal ... [et al.] 1997. CRC Press LLC. P. 1-8
118. Lambert, R.L., Lang, G.E., Reiners, W.A., (1980). Loss of mass and chemical change in decaying boles of a subalpine balsam fir forest. *Ecology*, Vol. 61(6). 1460-1473.
119. Lefèvre, C., Rejik, F., Alcantara, V., & Wiese, L. (2017). Soil organic carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
120. Lefèvre, C., Rejik, F., Alcantara, V., & Wiese, L. Soil organic carbon: the hidden potential. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO. 2017. 77 p.
121. Mathias Mayer, Cindy E. Prescott, Wafa E.A. Abaker, Laurent Augusto, Lauric Cécillon, Gabriel W.D. Ferreira, Jason James, Robert Jandl, Klaus Katzensteiner, Jean-Paul Laclau, Jérôme Laganière, Yann Nouvellon, David Paré, John A. Stanturf, Elena I. Vanguelova, Lars Vesterdal. (2020). Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis, *Forest Ecology and Management*, Volume 466 (118127.), <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118127>
122. Marcinek R. (2001). Dane historyczne dla miejscowości w obrębie Bieszczadzkiego Parku Narodowego. Monografie Bieszczadzkie T.XII.
123. Matthew, B. Russell, Shawn Fraver Tuomas, Aakala Jeffrey, H., Gove Christopher W., Woodall, Anthony W. D'Amato, Mark J, Ducey. (2015). *Quantifying carbon stores and decomposition in dead wood: A review*,. *Forest Ecology and Management*, Volume 350, Pages 107-128, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.04.033>.
124. Matuszkiewicz, J.M.; Affek, A.N.; Kowalska, A. (2021). Current and Potential Carbon Stock in the Forest Communities of the Białowieża Biosphere Reserve. *For. Ecol. Manag.* 2021, 502, 119702. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119702>
125. Merganičová K., Merganič J., Svoboda M., et al. Deadwood in Forest Ecosystem. *Forest Ecosystems More than Just Trees* / Red. Dr Juan A. Blanco .2012. P. 81-108.
126. Merganičová, K. (2010). Coarse woody debris carbon stocks in natural spruce forests of Babia hora. *Journal of forest science*.. 56 (9). P. 397–405.
127. Merganičová, K., Merganič, J., Svoboda M., et al. (2012). Deadwood in Forest Ecosystem. *Forest Ecosystems More than Just Trees* / Red. Dr Juan A. Blanco .. P. 81-108.
128. Minelli, S., 2018. *Default data: methods and interpretation*. A guidance document for 2018 UNCCD, United Nations Convention to Combat Desertification. France. Retrieved from <https://policycommons.net/artifacts/1983874/default-data/2735639/fragments/> on 15 Oct 2022. CID: 20.500.12592/p92j83.
129. Morrissey, R. C. Jenkins, M. A., Saunders, M. R. (2014). Accumulation and Connectivity of Coarse Woody Debris in Partial Harvest and Unmanaged Relict Forests. *PLoS ONE* № 9(11). <https://doi:10.1371/journal.pone.0113323>.
130. Mund, Martina, & Kummert, E & Hein, M & Bauer, G.A & Schulze, Ernst. (2002). Growth and carbon stocks of a spruce forest chronosequence in central Europe. *Forest Ecology and Management*. 171, 275-296. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00788-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00788-5).
131. Nabuurs, G.J., O. Maser, K. Andrasko, P. Benitez-Ponce, R. Boer, M. Dutschke, E. Elsidig, J. Ford-Robertson, P. Frumhoff, T.Karjalainen, O. Krankina, W.A. Kurz, M. Matsumoto, W.

- Oyhantcabal, N.H. Ravindranath, M.J. Sanz Sanchez, X. Zhang. (2007). Forestry. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
132. Niewiadomski, Z., Maryskevych, O., Perzanowski K. (2018). International Biosphere Reserve «Eastern Carpathians». Biosphere Reserves in Poland. *Warszawa Wyd. Uniwersytetu Mikolaja Kopernika*, 109-128.
133. Ovington, J. D. (1957). The volatile matter? Organic carbon and nitrogen contents of tree species grown in close stands. *New Phytol*, № 56. 1-132.
134. Page-Dumroese, Deborah & Sanchez, Felipe & Udawatta, Ranjith & Perry, Charles & González, Grizelle. (2021). Soil Health Assessment of Forest Soils. pp.100-138. DOI:10.1002/9780891189817.ch6.
135. Paul E.A. Morris, S.J., Conant R.T., A.F Plante. (2006) .Does the acid-hydrolysis incubation method measure meaningful soil organic carbon pools? *Soil Science Society of America Journal*. Vol 70. P. 1023-1035.
136. Pyzhyk, I. S., & Shpakivska, I. M. (2019). Actual stocks of the organic carbon in mortmas and soils of forestry ecosystems of the Stryi-Sianskaya Verkhovyna in the territory of the Vernovysotske forestry (Borin forestry enterprise). *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(9), 15–21. <https://doi.org/10.36930/40290902>
137. Raich, J.W., and Schlesinger, W.H. (1992) The Global Carbon-Dioxide Flux in Soil Respiration and Its Relationship to Vegetation and Climate. *Tellus. Series B Chemical and Physical Meteorology*, 44, 81-99. <http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0889.1992.t01-1-00001.x>
138. Reyna-Bowen L, Lasota J, Vera-Montenegro L, Vera-Montenegro B, Błońska E. (2019) Distribution and Factors Influencing Organic Carbon Stock in Mountain Soils in Babia Góra National Park, Poland. *Applied Sciences*.; 9(15):3070. <https://doi.org/10.3390/app9153070>
139. Robert C. Musselman, & Douglas G. Fox. (1991). A Review. Of the Role of Temperate Forests in the Global CO2 Balance, *Journal of the Air Waste Management Association*, 41:6, 798-807. <https://doi.org/10.1080/10473289.1991.10466876>
140. Robertson, G.P., and E.A. Paul.(2000). *Decomposition and soil organic matter dynamics*. Pages 104-116 in E.S. Osvaldo, R.B. Jackson, H.A. Mooney, and R. Howarth, eds. *Methods in Ecosystem Science*. Springer Verlag, New York, New York, USA
141. Russell Matthew B., Fraver Sh., Aakala T., at al.. (2015). Quantifying carbon stores and decomposition in dead wood. *A review. Forest Ecology and Management*, № 350, 107-128. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.04.033>
142. Schmidt, Michael & Torn, Margaret & Abiven, Samuel & Dittmar, Thorsten & Guggenberger, Georg & Janssens, Ivan & Kleber, Markus & Kögel-Knabner, Ingrid & Lehmann, Johannes & Manning, David & Nannipieri, Paolo & Rasse, Daniel & Weiner, Steve & Trumbore, Susan. (2011). Persistence of Soil Organic Matter as an Ecosystem Property. *Nature*, 478, 49-56. DOI: 10.1038/nature10386.
143. Schulz, E. (1990). Die heißwasserextrahierbare C-Fraktion als Kenngröße zur Einschätzung des Versorgungszustandes der Böden mit organischer Substanz (OS). *Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.-Wiss.* 269-275.
144. Skala, M., Wołski J. (2016). Osadnictwo i ludność. *Bojkowszczyzna Zachodnia – wczoraj, dziś i jutro. T.1.* (347-376). Jacek, W. (red).. Warszawa: PAN IG i PZ.
145. Sparling, G. M., Vojvodic-Vucovic, L. A., Schipper C. (1998). Hot-water-soluble C as a simple measure of labile soil organic matter: the relationship with microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, № 30. 1469-1472.
146. Stevens, V. (1997). The ecological role of coarse woody debris: an overview of the ecological importance of CWD in B.C. forests. *Res. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Work. Pap.* 26 p.

147. Szopka, K. et al. (2016). The pools of soil organic carbon accumulated in the surface layers of forest soils in the Karkonosze Mountains, SW Poland. *Soil Science Annual* 67(2), 46–56, <https://doi.org/10.1007/s11368-009-0110-0>.
148. Tokar, O. Ye., Korol, M. M., & Gusti, M. I. (2021). Estimation of carbon stocks in phytomass of forest stands of protected areas in the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(5), 42–46. <https://doi.org/10.36930/40310506>
149. Tubiello, F. N., Conchedda, G., Wanner, N., Federici, S., Rossi, S., and Grassi, G. (2021). Carbon emissions and removals from forests: new estimates, 1990–2020. *Earth Syst. Sci. Data*, 13, 1681–1691, <https://doi.org/10.5194/essd-13-1681-2021>.
150. Van der Werf, G., Morton, D., DeFries, R. et al. (2009). CO₂ emissions from forest loss. *Nature Geosci* 2, 737–738. <https://doi.org/10.1038/ngeo671>
151. Vanguelova, E.I.; Nisbet, T.R.; Moffat, A.J.; Broadmeadow, S.; Sanders, T.G.M.; Morison, J.L.L. (2013) A new evaluation of carbon stocks in British forest soils. *Soil Use Manag.*, 29, 169–181. <https://doi.org/10.1111/sum.12025>
152. Wachinger, G., Fielder, S., Zepp, K., Gattinger, A., Sommer, M., Roth, K. (2000). Variability of soil methane production on the micro-scale: spatial association with hot spots of organic material and Archaeal populations. *Soil Biology and Biogeochemistry*, № 32. – P. 1121–1130.
153. Wachinger, G.; Fielder, S.; Zepp, K.; Gattinger, A.; Sommer, M.; Roth, K. (2000). Variability of soil methane production on the micro-scale: spatial association with hot spots of organic material and Archaeal populations. *Soil Biology and Biogeochemistry*, 32, 121–1130.
154. Wirth I.C., Czimczik C.I., Schulze E.-D. (2002). Beyond annual budgets: carbon flux at different temporal scales in fire-prone Siberian Scots pine forests. *Tellus B*. № 54, 611–630. doi:10.1034/j.1600-0889.2002.01343.x.
155. Xin-Xiao Yu, Li-Hua Chen, Jian-Zhi Niu and Yu-Tao Zhao. (2009). Hydrological effects of coarse woody debris (CWD) in the sub-alpine dark coniferous ecosystem of the upper reaches of the Yangtze river. *World Forestry Congress XII*. URL: <http://www.fao.org/3/XII/0874-B1.htm> Zhao, J., Peng, S., Chen, M., Wang G., Cui Y., Liao L., Feng J., Zhu B., Liu W., Yang L. & Tan Z. (2019). Tropical forest soils serve as substantial and persistent methane sinks. *Sci Rep*, 9: 16799. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51515-z>
156. Zielonka, Anna & Drewnik, Marek & Musielok, Łukasz & Dyderski, Marcin & Struzik, Dariusz & Smulek, Grzegorz & Ostapowicz, Katarzyna. (2021). Biotic and Abiotic Determinants of Soil Organic Matter Stock and Fine Root Biomass in Mountain Area Temperate Forests—Examples from Cambisols under European Beech, Norway Spruce and Silver Fir (Carpathians, Central Europe). *Forests*. 12, 823. <https://doi.org/10.3390/f12070823>.

Поправочні коефіцієнти для розрахунку запасів фітомаси і органічного Карбону для хвойних і твердолистяних деревних порід

Фракції фітомаси	№	Коефіцієнти рівняння					R ²	n
		a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄		
Сосна звичайна								
R _{v(f)}	(1)	156.49	-0.576	-1.695	-0.01	-	-	137
R _{v(b)}	(1)	59.282	-0.456	-1.427	-0.0034	-	-	137
R _{v(st)}	(1)	0.223	0.108	0.04	0.0015	-	-	137
R _{v(bh)}	(1)	4.96	-0.218	-1.08	0.0088	-	-	137
R _{v(us)} (understory)	(3)	0.0977	1.2007	-0.6428	0.3967	-0.0041	-1.0726	104
	(3)	0.1500	0.8441	0.3496	0.0636	-0.0030	-0.9200	157
Смерека європейська, ялиця біла								
R _{v(f)}	(4)	0.1008	0.4192	-0.1172	-0.5909	0.1585	-	39
R _{v(b)}	(4)	0.1124	0.4524	-0.0407	-0.8371	0.4922	-	39
R _{v(st)}	(4)	0.1861	0.0814	0.1158	0.0811	-0.0703	-	39
R _{v(bh)}	(4)	0.2845	0.3641	-0.3322	0.2611	-0.4130	-	31
R _{v(us)} (understory)	(3)	0.000053	1.5008	2.1088	0.2923	-0.0050	-0.3740	106
	(3)	0.0057	0.7050	2.6234	1.3107	-0.0013	-3.3367	134

Фракції фітомаси	№	Коефіцієнти рівняння					R ²	n
		a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄		
Дуб звичайний								
R _{v(f)} (foliage)	(1)	43.202	-1.157	-1.062	0.002	-	-	32
R _{v(ba)} (branches)	(1)	3.615	-0.143	-0.805	-0.0039	-	-	32
R _{v(st)} (stemwood)	(1)	0.377	-0.0446	0.144	0.002	-	-	32
R _{v(bh)} (belowground)	(1)	0.000696	-1.131	2.643	0.015	-	-	32
R _{v(us)} (understory)	(3)	0.0012	1.5658	0.6301	-0.3590	-0.0068	0.2567	37
	(3)	0.4529	0.4664	0.5579	0.0064	-0.0023	-1.0993	48
Бук лісовий								
R _{v(f)} (foliage)	(1)	547.4	-1.671	-1.391	0.012	-	-	17
R _{v(ba)} (branches)	(1)	8.085	-1.277	-0.242	0.029	-	-	17
R _{v(st)} (stemwood)	(1)	0.251	0.199	0.086	-0.004	-	-	17
R _{v(bh)} (belowground)	(3)	0.3696	-0.5612	0.5132	-0.8790	0.0054	0.3560	
R _{v(us)} (understory)	(3)	0.0012	1.5658	0.6301	-0.3590	-0.0068	0.2567	37
	(3)	0.4529	0.4664	0.5579	0.0064	-0.0023	-1.0993	48

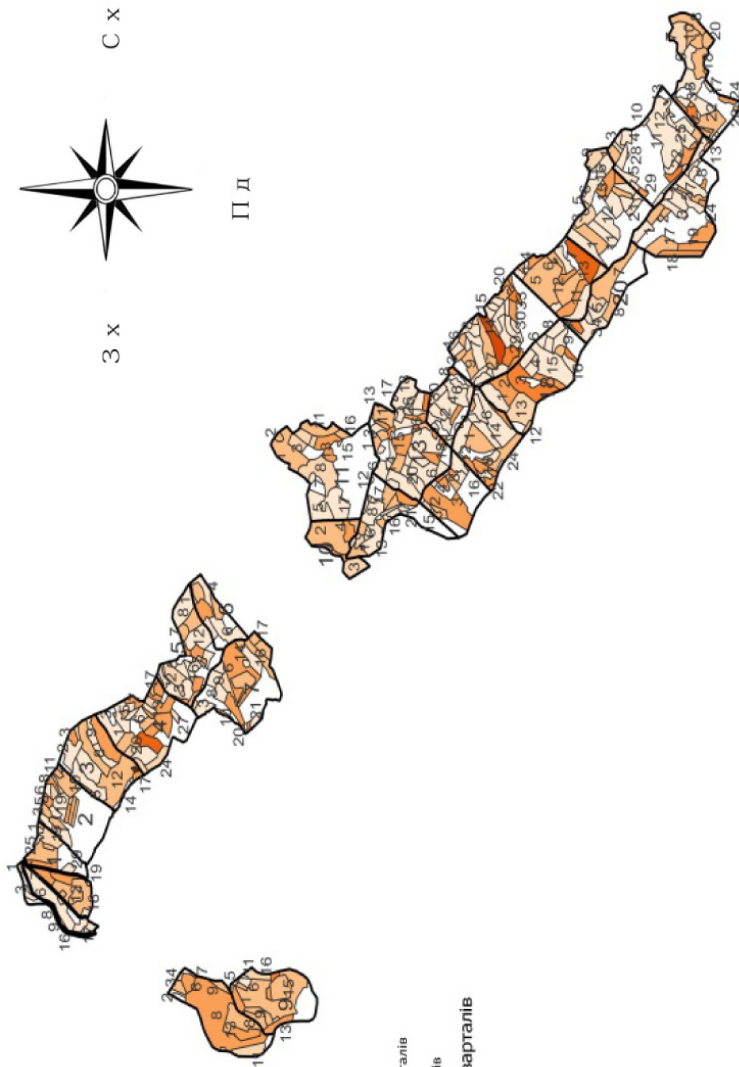
Поправочні коефіцієнти для розрахунку запасів фітомаси і органічного Карбону
для м'яколистяних деревних порід

Фракції фітомаси	№	Коефіцієнти рівняння					R ²	n
		a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄		
Береза повисла, береза пухлята								
R _{уд(л)} (foliage)	(2)	1221.2	-0.826	-2.332	-	-	-	-
R _{уд(б)} (branches)	(2)	202.21	-0.773	-1.464	-	-	-	-
R _{уд(ст)} (stemwood)	(2)	0.53	0.0277	-0.0226	-	-	-	-
R _{уд(бн)} (belowground)	(2)	1.206	-0.33	-0.272	-	-	-	-
R _{уд(ст)} (understory)	(3)	0.0012	1.5658	0.6301	-0.3590	-0.0068	0.2567	0.65
	(3)	0.4529	0.4664	0.5579	0.0064	-0.0023	-1.0993	0.56
Осіка								
R _{уд(л)} (foliage)	(2)	57.749	-0.95	-1.557	-	-	-	-
R _{уд(б)} (branches)	(2)	7.228	-0.339	-1.19	-	-	-	-
R _{уд(ст)} (stemwood)	(2)	0.896	-0.04	-0.214	-	-	-	-
R _{уд(бн)} (belowground)	(3)	1.0694	-0.3372	0.2435	0.7394	0.0007	-1.1848	0.61
R _{уд(ст)} (understory)	(3)	0.0012	1.5658	0.6301	-0.3590	-0.0068	0.2567	0.65
	(3)	0.4529	0.4664	0.5579	0.0064	-0.0023	-1.0993	0.56

Фракції фітомаси	№	Коефіцієнти рівняння					R ²	n
		a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄		
Вільха сіра, вільха чорна								
R _{удл} (foliage)	(2)	1.926	-0.75	-0.749	-	-	-	
R _{удвл} (branches)	(2)	0.129	-0.291	0.032	-	-	-	
R _{удст} (stemwood)	(1)	0.185	0.243	0.084	-0.005	-	-	
R _{удпн} (belowground)	(2)	0.482	-0.02	-0.393	-	-	-	
R _{удс} (understory)	(3)	0.0012	1.5658	0.6301	-0.3590	-0.0068	0.2567	0.65
	(3)	0.4529	0.4664	0.5579	0.0064	-0.0023	-1.0993	0.56
								37
								48

Приріст фітомаси за період з 2007 по 2027 рр у лісових екосистемах РЛП «Надсянський»

П Н



Умовні позначення

9 - номера лісотаксаційних кварталів

5 - номера лісотаксаційних виділів

▭ Межі лісотаксаційних кварталів

Шідльність С за 2007р, т/га

□ не квітті лісом площі

0 - 40

40 - 70

70 - 100

100 - 130

130 - 160

160 - 200

200 - 240

240 - 280

280 - 340

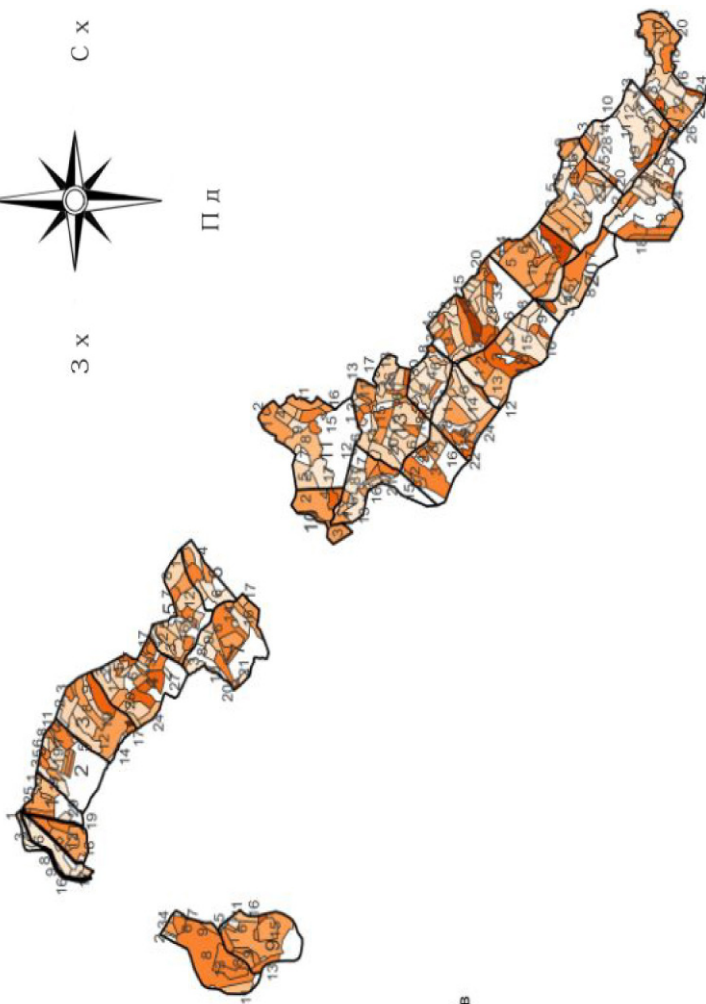
Пн



Зх

Сх

Пд



Умовні позначення

9 - номер лісотаксаційних кварталів

5 - номер лісотаксаційних виділів

▭ Межі лісотаксаційних кварталів

Щільність С за 2017р. т/га

□ не квітті лісом площі

0 - 40

40 - 70

70 - 100

100 - 130

130 - 160

160 - 200

200 - 240

240 - 280

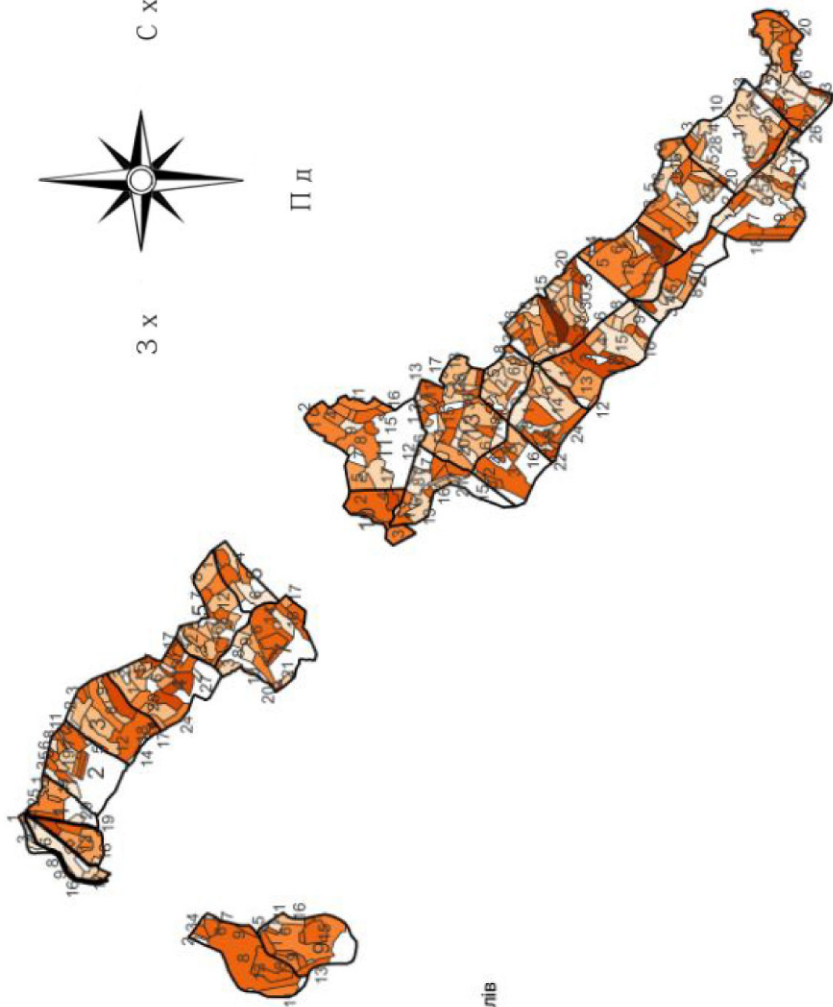
280 - 340

П Н



З Х

П Д



Умовні позначення

9 - номер лісотаксаційних кварталів

5 - номер лісотаксаційних виділів

▭ Межі лісотаксаційних кварталів

Щільність С за 2027р, т/га

□ не квітлі лісом площі

0 - 40

40 - 70

70 - 100

100 - 130

130 - 160

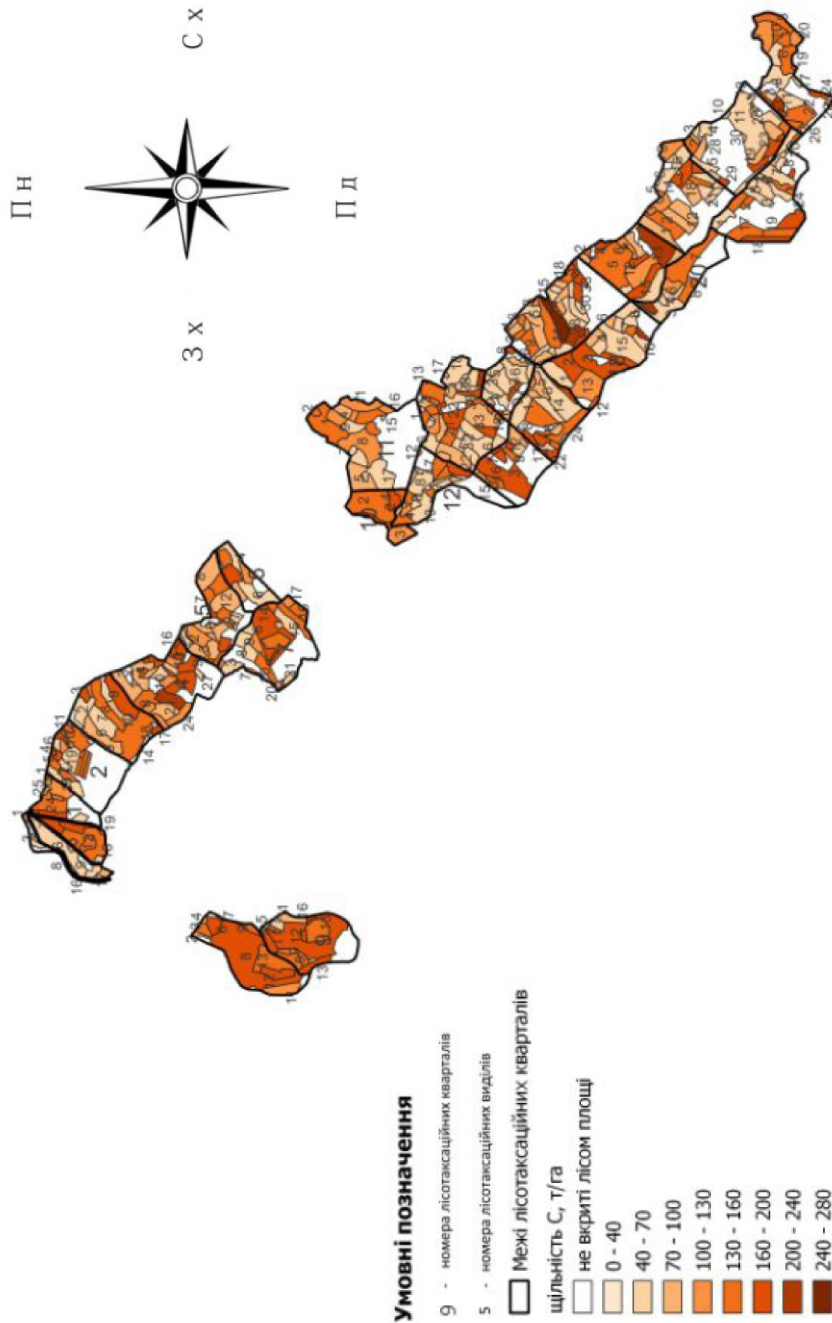
160 - 200

200 - 240

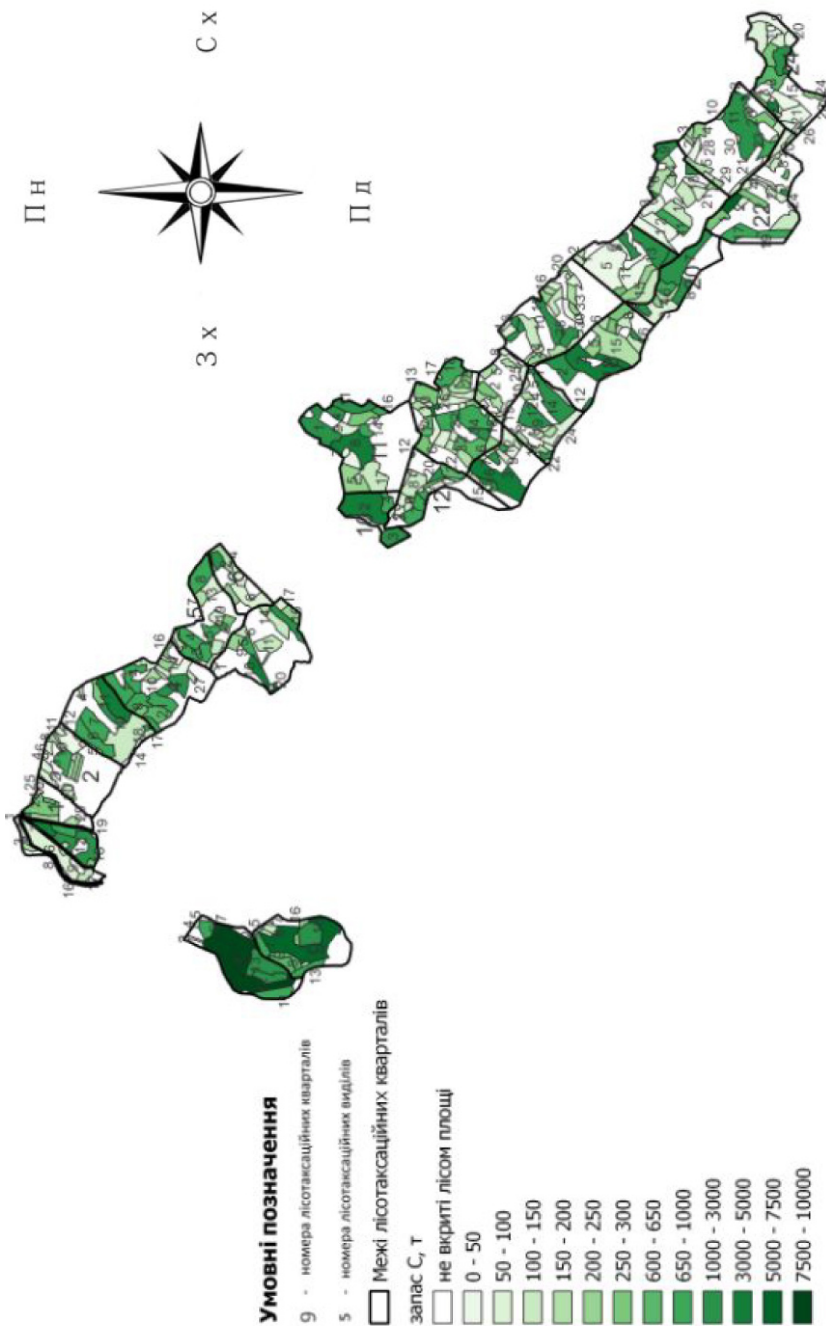
240 - 280

280 - 340

Щільність сумарних запасів органічного Карбону у лісових екосистемах РЛП «Надсянський»



Запаси органічного Карбону у фітомасі, ґрунті (шар 0-0,25 м), лісовій підстилці і грубих деревних залишках у лісових екосистемах РЛП «Надсянський»



Наукове видання

**І.С. ПИЖИК, І.М. ШПАКІВСЬКА, О.Г. МАРИСКЕВИЧ,
В.П. РОЖАК, В. М. ДИЧКЕВИЧ, Є.О. ПУКА**

**ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ І ОЦІНКА
ЗАПАСІВ ОРГАНІЧНОГО КАРБОНУ
В ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ
РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ
«НАДСЯНСЬКИЙ»**

Монографія

Дизайн обкладинки
та комп'ютерне верстання: *Ігор Дикий*

Монографія підготовлена в рамках проекту № 09/19-SK «Оцінка вуглецевої ємності лісових екосистем РЛП «Надсянський» як складової МРБ «Східні Карпати» за фінансової підтримки Фонду збереження біорізноманіття Карпат (Nadaciá pre ochranu biodiverzity Karpát, Slovensko)

*Підписано до друку 18.07.2022. Формат 60×84/16. Друк цифровий. Гарнітура Minion Pro.
Папір офсетний 80 г/м². Умовн. друк. арк. 6.98.
Наклад 100 прим.*

*Інститут екології Карпат НАН України,
вул. Козельницька, 4, Львів. 79026*

*Свідомство про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
Серія ДК №1705 від 30.07.2018.*

*Друк ТЗОВ «Простір-М»
79000, м.Львів, вул.Чайковського, 8
тел. (032)264-09-05, e-mail: prostir.druk@gmail.com
Свідомство суб'єкта видавничої діяльності
Серія ДК № 5068 від 22.03.2016 р.*