

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕКОЛОГІЇ КАРПАТ

*На правах рукопису*

**РОЖАК ВОЛОДИМИР ПЕТРОВИЧ**

УДК 631.417.1: 631.433.3

ЦИКЛ ВУГЛЕЦЮ В ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ СТРИЙСЬКО-  
СЯНСЬКОЇ ВЕРХОВИНИ (УКРАЇНСЬКІ КАРПАТИ)

03.00.16 – екологія

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата біологічних наук

Науковий керівник:  
Марискевич Оксана Георгіївна,  
кандидат біологічних наук,  
старший науковий співробітник

ЛЬВІВ-2015

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b>	.....	<b>5</b>
<b>Розділ 1</b>	<b>Сучасні уявлення про цикл вуглецю в лісових екосистемах.....</b>	<b>11</b>
1.1	Біотичний цикл вуглецю.....	13
1.2	Пули і потоки вуглецю в лісових екосистемах та їх значення в акумулюванні атмосферного CO <sub>2</sub> .....	19
1.3	Основні поняття.....	21
1.4	Методи оцінки балансу вуглецю.....	31
<b>Розділ 2.</b>	<b>Природні умови формування лісових екосистем Стрийсько-Сянської Верховини.....</b>	<b>35</b>
2.1	Фізико-географічна характеристика території досліджування...	35
2.2	Кліматичні умови.....	35
2.3	Ґрунти.....	48
2.4	Рослинний покрив.....	39
<b>Розділ 3</b>	<b>Об'єкти і методи досліджень.....</b>	<b>41</b>
3.1	Об'єкти досліджень.....	41
3.2	Методи досліджень.....	48
3.2.1	Визначення запасу і структури органічної речовини в блоці “фітомаса”.....	48
3.2.2	Визначення запасу і структури органічної речовини в блоці “ґрунт”.....	50
3.2.3	Оцінка інтенсивності основних потоків.....	52
3.2.4	Інші ґрунтові аналізи.....	55
3.2.5	Розрахунок чистої екосистемної продукції (NEP)	55
<b>Розділ 4.</b>	<b>Особливості формування запасів фітомаси та фітодетриту..</b>	<b>56</b>
4.1	Блок “фітомаса”.....	56
4.1.1	Деревний ярус.....	56
4.1.2	Підріст.....	62
4.1.3	Надґрунтовий покрив.....	65
4.1.4	Загальні запаси.....	68

4.2	Запас фітодетриту.....	72
4.2.1	Грубі деревні залишки.....	74
4.2.2	Підстилка.....	78
4.2.3	Кореневий детрит.....	81
4.2.4	Загальні запаси.....	83
<b>Розділ 5</b>	<b>Запаси органічного вуглецю в основних блоках лісових екосистем.....</b>	<b>86</b>
5.1	Блок “фітомаса”.....	87
5.2	Блок “грунт“.....	89
5.2.1	Фітодетрит.....	89
5.2.2	Запас і концентрація рухомого вуглецю в компонентах фітодетриту.....	91
5.2.3	Гумусові сполуки.....	95
5.2.4	Мікробна біомаса.....	98
5.3	Пул вуглецю.....	100
<b>Розділ 6.</b>	<b>Інтенсивність основних обмінних потоків циклу вуглецю ...</b>	<b>104</b>
6.1	Асиміляція вуглецю в чистій первинній продукції.....	104
6.2	Відмирання фітомаси.....	110
6.3	Мінералізація органічної речовини.....	114
6.3.1	Емісія CO <sub>2</sub> з поверхні грубих деревних залишків.....	114
6.3.2	Емісія CO <sub>2</sub> з поверхні ґрунту (0 – 20 см).....	115
6.4	Інтенсивність процесів, які формують запаси надґрунтового фітодетриту.....	117
<b>Розділ 7</b>	<b>Чиста екосистемна продукція та баланс вуглецю.....</b>	<b>120</b>
	<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>126</b>
	<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>129</b>
	<b>Додатки.....</b>	<b>155</b>

**У роботі використані такі скорочення:**

GPP – валова первинна продукція;

NPP – чиста первинна продукція;

NEP – чиста екосистемна продукція;

CWD (Coarse woody debris) – грубі деревні залишки;

$C_{\text{ЛМОР}}$  - вуглець легкомінералізуючої органічної речовини ( $C_{\text{роп}} + C_{\text{лор}}$ );

$C_{\text{ЛОР}}$  - вуглець лабільної органічної речовини (рослинні залишки різного ступеня розкладу і мікробна біомаса);

$C_{\text{РОР}}$  - вуглець рухомої органічної речовини;

$C_{\text{СТАБ.ГУМУС}}$  -органічний вуглець міцно зв'язаний з мінеральною частиною ґрунту;

$C_{\text{ОРГ}}$  - вуглець органічної речовини ґрунту ( $C_{\text{ЛМОР}} + C_{\text{СТАБ.ГУМУС}}$ );

$C_{\text{ЗАГ.}}$  - загальні запаси органічного вуглецю в екосистемі ( $C_{\text{фітомаса}} + C_{\text{ЛМОР}} + C_{\text{СТАБ.ГУМУС}}$ );

$C_{\text{ВОР}}$  – вуглець водорозчиненої органічної речовини;

$C_{\text{МБ}}$  – вуглець мікробної біомаси;

$C_{\text{ЕГВ}}$  – вуглець екстрагований гарячою водою;

$C_{\text{ЕХВ}}$  – вуглець екстрагований холодною водою;

ROP – розчинена органічна речовина;

Resp – гетеротрофне дихання.

## ВСТУП

Актуальність досліджень циклу вуглецю в наземних екосистемах пов'язана з проблемою оцінки глобальних змін клімату. Згідно з доповіддю Міжурядової групи експертів зі змін клімату (2001), за останні 100 років середня температура земної поверхні підвищилася на 0,6 °С, а концентрація вуглекислого газу в атмосфері - на 90 ррт (тобто на 30%). Ця проблема визнана міжнародною спільнотою, як загроза для людства, що спричинило до підписання Рамкової конвенції ООН щодо змін клімату (1992) та Кіотського протоколу (1997), який Україна ратифікувала в 2004 р. [58].

Хоча основною сферою діяльності, що регулюється Кіотським протоколом, є промисловість та енергетика, вона також стосується й прогнозування емісій та депонування вуглецю в секторі природокористування (лісове та сільське господарство). Й кожна з країн, що бере участь в Кіотському процесі, повинна володіти даними щодо оцінки запасів та параметрів циклу вуглецю на регіональному та національному рівнях. З огляду на це, важливою є розробка адекватних методів оцінки складових балансу вуглецю в окремих природних регіонах та його прогнозування за різних сценаріїв змін клімату.

Серед напрямків сучасної екології одним із основних завдань є встановлення ролі лісових екосистем окремих регіонів у глобальному циклі вуглецю. Пули та потоки вуглецю не лише інтегрують в єдину збалансовану систему атмосферно-геосферних зв'язків, але й дають можливість оптимізувати екологічні аспекти та потреби лісокористування. Біосферна роль лісових екосистем полягає у стабілізації рівня атмосферного CO<sub>2</sub> та визначається кількісним та якісним складом органічної речовини, що акумульована в окремих блоках: фітомасі, фітодетриті та гумусі ґрунту. Серед наземних екосистем провідна роль у CO<sub>2</sub>-газообміні належить лісовим екосистемам, а депонування вуглецю в деревних рослинах може пом'якшувати наслідки парникового ефекту [247]. Різні способи лісокористування призводять до змін в обмінних процесах в системі атмосфера ↔ рослинний покрив ↔ ґрунти та впливають на баланс вуглецю як на регіональному, так і національному рівнях [207; 217]. Регіональні зміни клімату відбуваються і в Україні – середньорічна температура повітря на

більшій частині території країни зросла на 0,5–1,0 °С, збільшилася річна сума опадів, насамперед у зимовий та весняний періоди, частіше повторюються стихійні гідрометеорологічні явища [121]. З огляду на це, актуальним є встановлення величин депонування органічного вуглецю в лісових екосистемах карпатського регіону [41; 99], та емісії CO<sub>2</sub> за рахунок його мінералізації [216].

З позицій циклу вуглецю, лісові екосистеми – це система блоків-резервуарів, пов'язаних між собою відповідними потоками. Запаси вуглецю в блоках та інтенсивність обмінних процесів – основні параметри, що описують цикл вуглецю. Пул органічної речовини у блоках забезпечується взаємодією двох груп процесів: фотосинтетичною асиміляцією вуглецю атмосфери (NPP) та його вивільненням у процесі розкладу чи міграції. Спрямованість та інтенсивність цих потоків визначає величину чистої екосистемної продукції (NEP) та „вуглецеву ємність” лісових екосистем регіону. [168]. З огляду на це, кінцевою метою вивчення циклу вуглецю в лісових екосистемах є оцінка нетто-екосистемної продукції (NEP) між атмосферою і біогеоценозом. Величина NEP, або іншими словами – різниця величин чистої первинної продукції (NPP) та гетеротрофного дихання (Resp) визначає біосферний статус лісової екосистеми за період часу. Якщо NPP більша за Resp, то в екосистемі відбувається накопичення органічного вуглецю та його баланс буде позитивним, якщо ж NPP менша ніж Resp, то екосистема буде джерелом емісії вуглекислого газу з від'ємним його балансом. Тобто, в першому випадку екосистема буде функціонувати як біосферний стік вуглецю, а в другому – як джерело CO<sub>2</sub> для атмосфери.

Основну частину природної емісії парникових газів становить вивільнення CO<sub>2</sub> з поверхні ґрунтів, яке за абсолютними величинами є порівняльним з продукцією органічного вуглецю та може в декілька разів перевищувати промислові викиди паливно-енергетичного комплексу, особливо в гірських екорегіонах зі значним відсотком природних лісових екосистем на фоні низької концентрації об'єктів промислового і комунального секторів. Сучасне потепління клімату спричиняє інтенсифікацію потоку неорганічного вуглецю з поверхні ґрунтів (особливо у гірських регіонах планети) за рахунок біохімічної

деградації органічної речовини. У зв'язку із загрозою глобального потепління одним з актуальних завдань сучасності є отримання об'єктивних оцінок балансу вуглецю окремих регіонів. Для цього необхідна оцінка інтенсивності процесів мінералізації та складових циклу вуглецю в наземних екосистемах різних природних зон, величини річних потоків вуглекислого газу з різних типів ґрунтів під різними рослинними угрупованнями за рахунок природної емісії неорганічного вуглецю в різних едафо-кліматичних умовах.

В рамках виконання Міжнародної біологічної програми досліджено біотичну продуктивність лісів Українських Карпат, її залежність від факторів середовища, зокрема типів умов місцезростання, висоти над рівнем моря, віку деревостанів, зімкнутості [12; 47; 54; 194]. В основних типах лісових екосистем Українських Карпат також вивчено режими формування фітодетриту [195; 201], органічний склад підстилок [202], біотичну активність ґрунтів [125], дихання ґрунтів [212], хімізм фітомаси й показники біотичного колообігу зольних елементів і азоту [220]. Проведені дослідження є реальною основою для встановлення основних параметрів циклу органічного вуглецю в лісових екосистемах. З огляду на це, важливою є оцінка основних параметрів циклу вуглецю в різних типах лісових екосистем різних фізико-географічних районів Українських Карпат, на тлі глобальних тенденцій у кліматі планети.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана у відповідності з науково-дослідними темами: “Структурно-функціональні особливості та перспективи сталого розвитку гірських геосоціосистем (на прикладі Бескидського регіону)” (№ ДР 01074012766); «Екосистемологічні засади оптимізації структури і середовищевірних функцій антропогенно трансформованих гірських екосистем» (№ ДР 01134001434), “Структурно-функціональні та адаптаційні перетворення біотичних систем у Карпатському, Подільському та Західнополіському регіоні України в умовах антропопресії” (№ ДР 01124000717).

**Мета і завдання роботи.** Метою роботи була оцінка основних параметрів циклу вуглецю, зокрема його резервуарів і потоків, визначення величини чистої

екосистемної продукції в типових лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати).

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

визначення запасів фітомаси в деревостані, підрослі (листя, хвоя, гілки, стовбур, корені), трав'яно-чагарничковому та моховому ярусах, фітодетриті (сухостій, пні, ламань, великі гілки, підстилка, кореневий детрит) лісових екосистем;

встановлення запасів вуглецю в основних блоках лісових екосистем: фітомасі, фітодетриті та ґрунті;

оцінка основних потоків циклу вуглецю: асиміляція, відмирання, мінералізація, міграція;

встановлення впливу породного та вікового складу лісових екосистем на основні показники циклу вуглецю;

розрахунок балансу вуглецю в лісових екосистемах.

*Об'єкт дослідження:* цикл органічного вуглецю в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини.

*Предмет дослідження:* асиміляція, мінералізація та міграція вуглецю в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини.

**Наукова новизна.** Наукова новизна отриманих результатів.

Уперше для найбільш поширених типів лісових екосистем Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати):

- встановлено запаси вуглецю в фітомасі деревного ярусу з використанням методу подеревної таксації, а також у надґрунтовій фітомасі та фітодетриті з врахуванням грубих деревних залишків;

- визначено співвідношення між надходженням і мінералізацією надґрунтового фітодетриту, розраховано річний баланс та величину чистої екосистемної продукції;

- враховано внесок грубих деревних залишків різних стадій розкладу в емісію CO<sub>2</sub>;

- оцінено лабільні та стабільні пули вуглецю, а також його міграцію перколяційними водами з підстилки та верхніх ґрунтових горизонтів;



- оцінено запаси та обмінні потоки вуглецю в блоках “фітомаса” та “ґрунт”.

**Теоретичне значення.** Здійснено оцінку складових циклу вуглецю з визначенням його запасів в основних блоках та обмінних потоків між ними, а також розрахунок чистої екосистемної продукції в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини.

**Практичне значення** полягає у можливості використання отриманих даних для оцінки ролі лісових екосистем Стрийсько-Сянської Верховини в депонуванні атмосферного вуглецю. Запропоновані методи оцінки основних параметрів циклу вуглецю можуть бути використані для інвентаризації парникових газів у секторі лісового господарства та оцінки їх ролі в балансі вуглецю Карпатського регіону.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертація є оригінальним дослідженням, виконаним особисто здобувачем. Автором проведені експедиційні виїзди, зібрано й опрацьовано зразки, здійснено аналіз та інтерпретацію результатів, сформульовано висновки. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, в дисертації використані лише ті ідеї та положення, які є результатом особистої праці здобувача. Права співавторів публікацій при написанні дисертації та автореферату не порушено.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертації були представлені й апробовані на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях: IX, X та XI наукові конференції молодих вчених “Наукові основи збереження біотичної різноманітності” (Львів, 2009, 2010, 2015); 14-я Пушчинская международная школа-конференция молодых ученых “Биология – наука XXI века”, (Пушино, Росія, 2010); IV Всеукраїнська наукова конференція молодих учених “Актуальні проблеми дослідження довкілля” (Суми 2011); V-та всеукраїнська конференція з міжнародною участю “V-й всеукраїнський з’їзд екологів з міжнародною участю” (Вінниця, 2015 р.); I-ша всеукраїнська конференція з міжнародною участю “Біологія та екологія ґрунтів” (Львів, 2015 р.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 12 друкованих робіт, у тому числі 5 статей: у фахових виданнях України, які входять до переліку МОН

України – 1; у фахових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз даних – 3 (Вісник ЛНУ ім. Івана Франка. Серія біологічна; Науковий вісник НЛТУ України; Наукові записки. Біологія і валеологія), в іноземних виданнях, що належать до міжнародної бази наукового цитування РИНЦ – 1 (Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов) та 7 тез доповідей.

## РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ЦИКЛ ВУГЛЕЦЮ В ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ

Виникнення і розвиток життя на Землі спричинені циклом речовин під впливом енергії Сонця. Реалізація різнонаправлених процесів накопичення енергії та її розсіювання є основною рушійною силою розвитку живої та неживої природи.

Еволюція біосфери тісно пов'язана із продукуванням автотрофами кисню. Він використовується гетеротрофами, зокрема, зв'язуючись вуглецем, який є матеріальною основою життя.

Біогеохімічний цикл вуглецю (Carbon cycle) є комплексом процесів, в ході яких відбувається перенесення вуглецю між резервуарами, в яких він присутній у різних формах:

- у відновленій формі, як метан та інших вуглеводнів присутніх в мантиї, корі, атмосфері та гідросфері;
- у нейтральному стані, як вугілля, графіт, алмаз та карбіди в корі та мантиї;
- в окисненій формі, як вуглекислий газ і карбонати, що містяться в мантиї, корі, атмосфері та гідросфері;
- складних біоорганічних сполуках вуглецю зосереджених в межах сучасної та попередніх біосфер.

Цикл вуглецю відрізняється рядом істотних особливостей. В історичному аспекті, його формували різні процеси на різних проміжках часу. Цикл вуглецю розвивався еволюційними та революційними шляхами, при чому останні – різкі, катастрофічні зміни циклу відігравали ключову роль.

Вуглець осадових гірських порід утворює основний планетарний резервуар вуглецю і є еквівалентним кисню, що міститься в атмосфері. Він відіграє ключову роль в геологічному циклі вуглецю і забезпечує розвиток біосфери в геологічному часі. Водночас, згаданий резервуар характеризується вкрай повільними (мільйони років) процесами обміну з іншими пулами і вважається несуттєвим при обрахунку сучасного циклу вуглецю в контексті глобальних кліматичних змін.

Найбільшим активним резервуаром вуглецю на Землі є Світовий океан, у якому міститься близько  $38\,100 \text{ Гт}\cdot\text{С}^{-1}$ . Лише пул розчиненого органічного вуглецю у межах Світового океану становить близько  $700 \text{ Гт}\cdot\text{С}^{-1}$  і є співрозмірним із вмістом  $\text{CO}_2$  в атмосфері ( $750 \text{ Гт}\cdot\text{С}^{-1}$ ) та перевищує пул вуглецю у фітомасі наземних екосистем ( $610 \text{ Гт}\cdot\text{С}^{-1}$ ). Найбільшим резервуаром вуглецю в межах суходолу є педосфера, в якій зафіксовано  $1580 \text{ Гт}\cdot\text{С}^{-1}$  (рис. 1.1.) [238; 271].

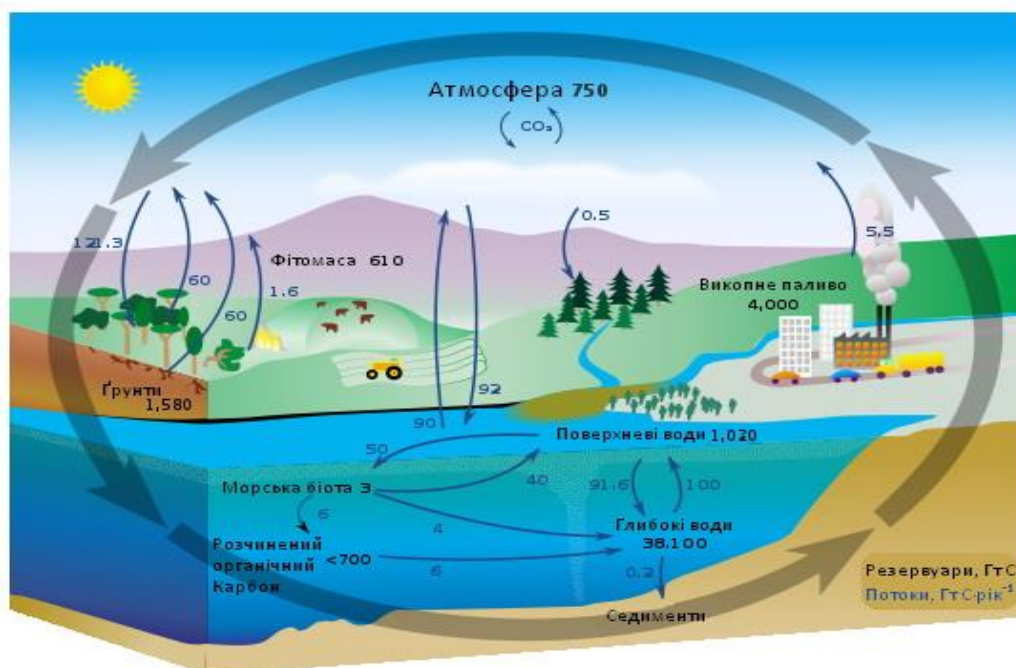


Рис.1.1 Біогеохімічний цикл вуглецю [239].

Значна кількість вуглецю міститься також у вигляді карбонатів. Їхнє накопичення відбувається переважно в морських системах на мілководді у смузі  $30^\circ$  від екватора. Проте, утворення карбонатів (зокрема біогенне) відбувається практично у всіх широтах, в тому числі і у приполярних областях [110].

Великі за розміром резервуари вуглецю відрізняються значною резистентною стійкістю й інертністю. Тому, в контексті глобальних кліматичних змін, найбільші планетарні резервуари вуглецю слугують лише фоном, на якому

<sup>1</sup> Гт = гігатонна =  $10^9$  тонн. Маса одного кубічного кілометра води. Замість одиниці Гт деякі автори використовують Пг = пентаграми =  $10^{15}$ . 1 Гт С відповідає  $\sim 3,67$  Гт  $\text{CO}_2$ . 2,12 Гт С або  $\sim 7,8$  Гт  $\text{CO}_2$  відповідають 1 ppmv  $\text{CO}_2$  в атмосфері

розвиваються значно динамічніші біогенні процеси. В історичному контексті, провідна роль належить біотичному циклу вуглецю.

### **1.1. Біотичний цикл вуглецю**

На думку Родіна Л.Є. та ін. [154], біотичний цикл – це надходження елементів із атмосфери й ґрунту в живі організми, біохімічний синтез і закріплення хімічних елементів в органічних структурах рослин з подальшим поверненням в ґрунт зі щорічним опадом або повністю відмерлими організмами.

Також, вважають [81], що біотичним циклом є рух речовин під дією елементів, який включає:

1. рух елементів по трофічних ланцюгах;
2. рух елементів внаслідок механічного впливу на породи і ґрунти;
3. рух елементів під впливом продуктів життєдіяльності організмів.

Біогеохімічний цикл вуглецю відрізняється від циклів інших хімічних елементів найвищою швидкістю обміну між функціональними пулами. Вона забезпечується інтенсивним біогенним током атомів вуглецю між ланками трофічних ланцюгів у процесі метаболізму живих організмів, а також між організмами та компонентами середовища їх існування [136].

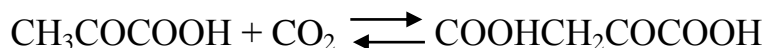
У біотичному циклі вуглецю можна виділити два найважливіші етапи, які виконують біосферну роль і пов'язані з виділенням і поглинанням кисню: фіксація  $\text{CO}_2$  в процесі фотосинтезу з еквівалентним виділенням  $\text{O}_2$  й мінералізація органічних речовин з виділенням вуглекислого газу й поглинанням  $\text{O}_2$ . Перший процес у планетарному масштабі виконується автотрофами, другий – гетеротрофами, переважно мікроорганізмами [62].

Енергетичне забезпечення біотичного циклу вуглецю здійснюється, головню, за рахунок фіксації фотосинтетиками енергії сонячного випромінювання. В організмах цих автотрофів фотосинтетично активна радіація перетворюється на енергію хімічних зв'язків. Відповідно збільшення біомаси системи відображає її вищу енергетичну ємність.

Біотичне зв'язування діоксиду вуглецю відбувається переважно шляхом фотосинтезу в наземному шарі біосфери й поверхневих водах Світового океану.

Внаслідок діяльності фотоавтотрофних кисисенних органїзмїв (цїанобактерїй, водоростей ї рослин), щорїчно на Землї утворюється 150 млрд тон органїчних речовин ї видїляється 200 млрд. тон кисню [65].

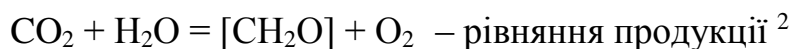
Крім звичайного (кисисенного) фотосинтезу, в бїосферї їснують також їншї механїзми хїмїчного зв'язування вуглецю. Це, наприклад, анокисисенний фотосинтез (властивий пурпурним, деяким зеленим бактерїям та гелїобактерїям) ї хемосинтез (реалїзується деякими нїтрифїкаторами, карбоксидобактерїями, сїркобактерїями тїоновими залїзобактерїями ї водневими бактерїями) [52]. Окремо слїд звернути увагу на гетеротрофну фїксацїю CO<sub>2</sub> [46]. Цей процес полягає у приєднаннї вуглекислоти до готових вуглеводневих ланцюгїв органїчних кислот. Найчастїше акцептором є пїривиноградна кислота (реакцїя Вуда-Веркмана):



Дослїди на дрїжджах з використаннями мїченого <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> показали, що бїльше 10 % вуглецю бїомаси гетеротрофних органїзмїв може складатись їз автоасимїльованого CO<sub>2</sub>, однак складнїсть проведення кїлькїсної оцїнки гетеротрофної фїксацїї дїоксиду вуглецю часто залишає цей важливий аспект поза межами сучасних математичних моделей динамїки органїчної речовини в компонентах довкїлля [130].

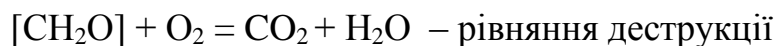
Деструкцїйна ланка циклу вуглецю забезпечує повернення в атмосферу зв'язаних у бїомасї атомїв вуглецю шляхом гетеротрофного дихання ї мїнералїзацїйного потоку. Першїй процес здїйснюється переважно консументами I ї II порядкїв ї вїдбувається в межах наземних екосистем ї поверхневих вод Світового океану, другий – редуцентами, якї локалїзованї у ґрунтовому блоцї наземних екосистем [33].

Кїнцевим продуктом деструкцїї органїчної речовини є вуглекислота, яка замикає цикл органїчного вуглецю ї пов'язує його з циклом неорганїчного вуглецю ї циклом кисисену [62]. Загальна схема глобального циклу вуглецю описується наступними рївняннями:



---

<sup>2</sup> [CH<sub>2</sub>O] або C<sub>орг</sub> означає вуглець органїчних сполук (органїчний вуглець)



На суходолі органічні сполуки вуглецю розподілені нерівномірно в абсолютному і відносному співвідношеннях, що пояснюється багатьма факторами, головними серед яких є температура і вологість. У холодному кліматі переважна більшість органічного вуглецю міститься в ґрунті. В тундрі відношення щорічного опаду до підстилки (підстилковий коефіцієнт) становить 1:100. Протилежна картина спостерігається в зонах теплого клімату, де більшість органічного вуглецю зв'язано у фітомасі. Для тропічного лісу, підстилковий коефіцієнт становить 100 : 1 [110]. Однак, високий рівень приросту біомаси у багатьох екосистемах тропіків не призводить до підвищення вмісту  $C_{\text{орг}}$  в ґрунті. Порівнюючи властивості тропічних ґрунтів під лісами і трав'яними формаціями Р. Тейт [167] прийшов до висновку, що кінцеві рівні накопичення колоїдальної органічної речовини ґрунту в межах конкретної ділянки обумовлені не лише продуктивністю екосистеми та інтенсивністю процесів розкладу, а також хімічними і фізичними особливостями як екосистеми в цілому, так і самого рослинного матеріалу.

Отже, кількісний і якісний склад органічних сполук вуглецю в різних компонентах екосистем суттєво залежить від фізико-хімічних умов. В контексті глобальних кліматичних змін особливої уваги заслуговують саме кількісні зміни потоків і пулів вуглецю. Оцінка приросту (додатного чи від'ємного) вмісту  $C_{\text{орг}}$  дає можливість оцінити напрям і характер трансформаційних процесів, що відбуваються в циклі (рис 1.2.).

Первинна продукція (Gross Primary Production, GPP) охоплює весь вуглець, що засвоюється продуцентами, а приріст маси біотичної системи відображає накопичення енергії у її структурі. Відомо, що лише 15 % від потенційно можливої кількості енергії сонячного випромінювання досягає поверхні Землі. З них не більше 1 % зв'язується у вигляді органічних речовин (первинна продукція). Лише 0,5 % фотосинтетично активна радіація зв'язується у вигляді чистої первинної продукції (Net Primary Production, NPP), оскільки близько половини енергії, зв'язаної у вигляді первинної продукції, використовується на забезпечення процесів життєдіяльності організмів, зокрема на дихання [208].

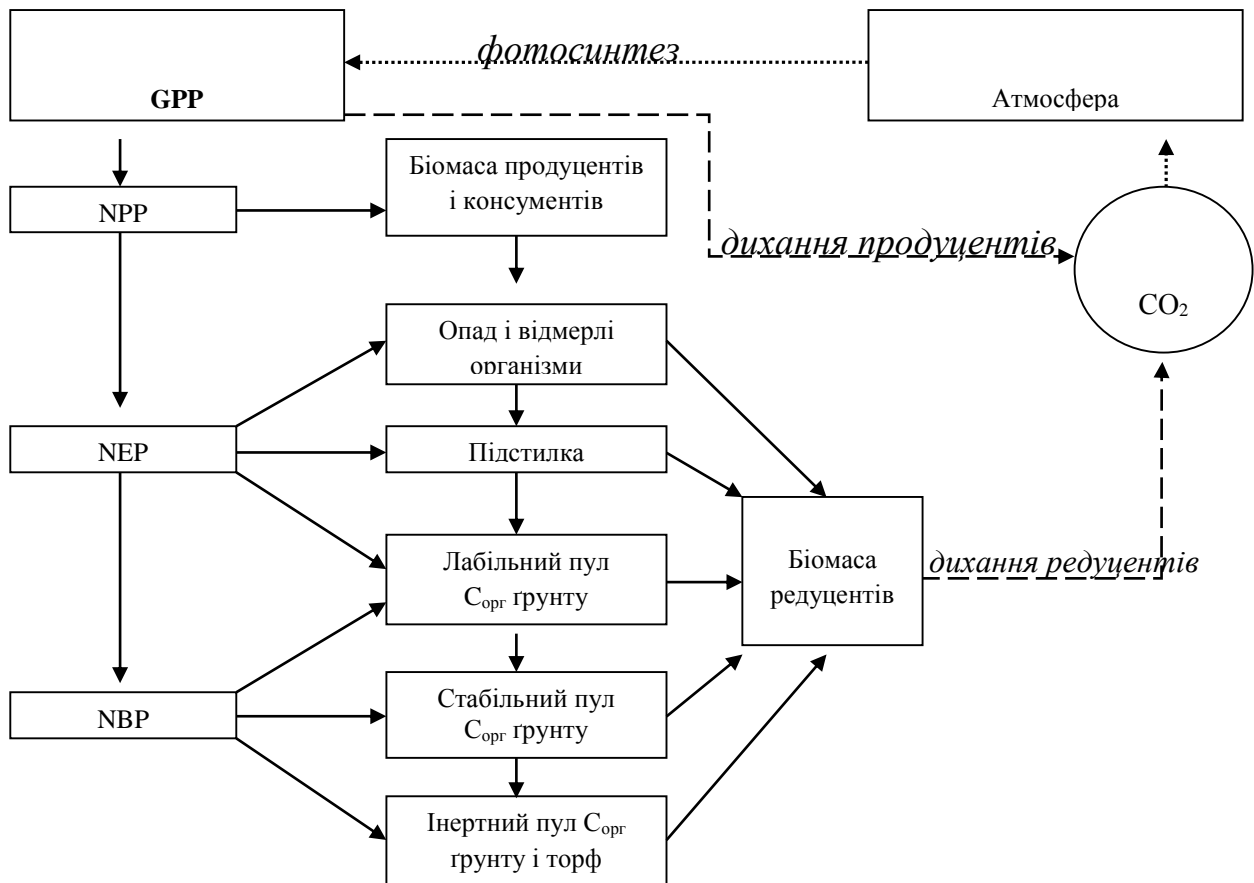


Рис.1.2. Основні динамічні резервуари і потоки вуглецю в біосфері [110].

Чисту первинну продукцію приймають рівною половині від GPP, вважаючи справедливою для більшості продуцентів формулу  $2NPP = GPP$  [257]. Водночас, така оцінка співвідношення первинної і чистої продукції є достатньо умовною, оскільки переважно враховують приріст лише надземних частин рослин, нехтуючи біомасою кореневої системи [63]. Також, суттєвим джерелом похибки є неврахування гетеротрофного (кореневого) дихання продуцентів, яке перебуває у тісному зв'язку з діяльністю продуцентів, особливо симбіонтів. Заварзин Г.А. [62] зазначає, що для водоростей з коротким життєвим циклом NPP практично дорівнює GPP.

Значного поширення в екологічних дослідженнях набуло використання показника чистої екосистемної продукції (Net Ecosystem Production, NEP), який визначає кількість  $C_{орг}$ , утвореного внаслідок річного циклу взаємодії продуцентів і гетеротрофів. Чисельно NEP відповідає NPP мінус дихання



органотрофів (в тому числі сапротрофів). Рівносильним є твердження, що NEP відповідає різниці GPP і  $R_{\text{esp}}$ <sup>3</sup>. Чиста екосистемна продукція відображає кількість органічного вуглецю в екосистемі, доступного для зберігання, експорту чи небіологічного окиснення внаслідок впливу ультрафіолетового випромінювання і пожеж [256]. Окрім того, NEP відображає швидкість акумуляції вуглецю органічних сполук у системі [230; 231; 267].

Необхідно звернути увагу на неприпустимість підміни понять NPP і NEP. З рис. 1.2., чисту екосистемну продукцію варто розуміти як один із функціональних пулів чистої первинної продукції. З метою узгодження термінологічних понять і розробки єдиного методичного підходу щодо визначення складових циклу вуглецю, G.M. Lovett et al. [256] пропонують трактувати NEP в контексті біотичного циклу в екосистемі. На думку авторів, приріст органічного вуглецю в екосистемі ( $\Delta C_{\text{org}}$ ) слід розуміти, як  $\Delta C_{\text{org}} = GPP + I - R_e - E - O_{\text{X}_{\text{nb}}}$ , де GPP – загальна первинна продукція, I – імпорт органічного вуглецю в екосистему,  $R_e$  – загальне дихання екосистеми, E – експорт органічного вуглецю за межі екосистеми,  $O_{\text{X}_{\text{nb}}}$  – небіологічне (ультрафіолетове випромінювання, пожежі) окиснення. Оскільки  $NEP = GPP - R_e$ , балансову модель чистої екосистемної продукції можна зобразити наступним чином:

$$NEP = \Delta C_{\text{org}} + E + O_{\text{X}_{\text{nb}}} - I$$

Кількісно, витратна частина NEP формується переважно за рахунок дихання ґрунтової біоти, представлені популяціями бактерій, грибів, водоростей, найпростіших, актиноміцетів і нематод. [43].

Вважається, що в 1 грамі ґрунту міститься (клітин):  $10^5$ – $10^7$  бактерій,  $10^4$  –  $10^5$  актиноміцетів,  $10^3$  –  $10^4$  водоростей,  $10^2$  –  $10^3$  найпростіших, а також до 10–50 метрів грибних гіф [73]. Найбільший внесок у загальний потік  $\text{CO}_2$  ґрунтової поверхні забезпечують бактерії (до 70 %), до 30% становить частка дихання грибів і близько 3 % – припадає на ґрунтові тварини [110]. Однак, в кислих ґрунтах, де забезпечуються сприятливі умови для розвитку грибних популяцій,

---

<sup>3</sup>  $R_{\text{esp}}$  – загальне дихання екосистеми (сума дихання автотрофів і гетеротрофів). Вимірювання цього показника проводять вночі, коли GPP рівна нулю

їхній внесок у загальний пул виділеного CO<sub>2</sub> може становити до 60 %, а частка у загальній мікробній біомасі становити від 50 до 79 % [270].

Варто зауважити, що на фоні біотичного циклу вуглецю потоки енергії є завжди односпрямовані: накопичена в тканинах продуцентів енергія поступово розсіюється у вигляді тепла на кожній наступній ланці трофічного ланцюга. Однак, на всіх цих етапах відбувається і синтез речовини, а разом із ним і накопичення енергії у хімічних зв'язках [208]. Важливо, що до складу NEP входить також і вторинна продукція.

GPP, NPP і NEP охоплюють динамічні резервуари з періодом утримання вуглецю близько 100 років (фітомаса). З метою оцінки більш стійких форм органічних сполук вуглецю (гумус і торф) введено поняття чистої біомної продукції (Net Biome Production, NBP). Вона становить основний резервуар C<sub>орг</sub> в наземних екосистемах. В історії біосфери функціонування цих резервуарів пов'язано із однонаправленим процесом акумуляції органічної речовини. Однак, упродовж останніх 50 років відбувається інтенсивне розвантаження C<sub>орг</sub> у вигляді вуглекислого газу і метану в атмосферу, головною причиною якого є нерациональне ведення сільського і лісового господарства. Зі збільшенням антропогенного навантаження на екосистеми також зростає від'ємна декомпенсація біотичного циклу вуглецю [73].

Одним із важливих завдань, що повинні забезпечуватись управлінням господарства, направленою на стале, стійке використання природних ресурсів, є відшкодування втрат органічного вуглецю. У зв'язку з цим інтенсивне землеробство замінюють біотичним, а збільшення масштабів автотрофного синтезу C<sub>орг</sub> забезпечується шляхом впровадження систем аграрного лісівництва. Для раціональної експлуатації ресурсів лісових екосистем необхідним є забезпечення менеджменту біотичними процесами, які забезпечуються знаннями механізмів на усіх рівнях систем. Отже, з метою зменшення негативного впливу сільського та лісового господарства на біотичний цикл вуглецю, важливим є забезпечення їх ведення із найменшим рівнем дестабілізації пулів та потоків C<sub>орг</sub> в екосистемі.

## 1.2. Пули і потоки вуглецю в лісових екосистемах та їх значення в акумулюванні атмосферного CO<sub>2</sub>

Київським протоколом визначено один із головних пріоритетів сталого використання ресурсів біосфери як “сприяння поширенню раціональних методів ведення лісового господарства, лісонасадження та лісовідновлення на стабільній основі”[58].

Складніша, порівняно з іншими наземними екосистемами, фітоценотична структура лісів призводить до високої енергоємності системи і, відповідно, інтенсивного фотосинтетичного стоку CO<sub>2</sub>. Наприклад, в одних зональних умовах типового лісостепу коефіцієнт ефективності використання (поглинання) фотосинтетично активної радіації у межах діброви ялицевої у 2,2 рази вищий, ніж на некошених луках, при цьому в лісових екосистемах транспіраційний коефіцієнт фітобіоти у чотири рази вищий [51].

З огляду на глобальні кліматичні зміни, першочергова увага науковців приділяється вивченню динамічних резервуарів вуглецю, оскільки від їхнього функціонування і якісно-процесного трансформування суттєво залежить актуальний вміст CO<sub>2</sub> в атмосфері. Головною характеристикою, якою відрізняються між собою згадані резервуари (рис.1.2.), є час перебування в них C<sub>орг</sub>. Для GPP – це години і доби, для NPP – рік, для NEP – десятки років, для NBP – сотні [63]. Унікальність лісових екосистем полягає в тому, що в них представлені усі ці резервуари, а напрям і характер розвитку процесів їхнього газообміну з атмосферою, здійснює визначальний вплив на формування і розвиток парникового ефекту.

Використовуючи літературні дані щодо емісії вуглецю, отримуємо, що за 2000 рік загальна емісія вуглецю склала  $16,7 \cdot 10^9 \text{ т рік}^{-1}$ , а загальне поглинання  $14,2 \cdot 10^9 \text{ т рік}^{-1}$ . При цьому в атмосфері акумулювалося  $2,5 \cdot 10^9 \text{ т С}$ . Це становить третину емісій, утворених від спалювання викопного палива. При оцінюванні лісів як поглиначів вуглецю можна зауважити, що із загального обсягу на їх частку припадає 23% глобального стоку, а баланс вуглецю на планеті прямо залежить від стану і продуктивної здатності лісових фітоценозів [102].

У масштабах планети від 75 до 90% загального запасу органічної речовини суходолу зосереджено в лісах [69;92;102;264], вони продукують більше 60% щорічно утворюваної фітомаси. Площа лісових земель планети становить близько 27% від загальної площі суші.

Зміна концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері визначає потребу дослідження ролі лісів, як найбільш потужного резервуару акумуляції атмосферного вуглецю (основного біогенного елемента планети) у фітомасі деревостанів, рослинних залишках і гумусі ґрунтів. Основу такого роду досліджень становить схема резервуарів і потоків вуглецю в лісових екосистемах (рис. 1.3).

Структура циклу вуглецю визначається його потоками між основними резервуарами, включаючи вуглець атмосфери (головним чином у формі CO<sub>2</sub>), океанів, наземних екосистем (рослинність, підстилка і ґрунт), річок і викопного палива [103]. Обмін речовини і енергії в біосфері між окремими резервуарами обумовлює цикл вуглецю і описується двома головними параметрами: запасом вуглецю та інтенсивністю потоків, що визначають ці запаси [35; 110; 168; та ін.].

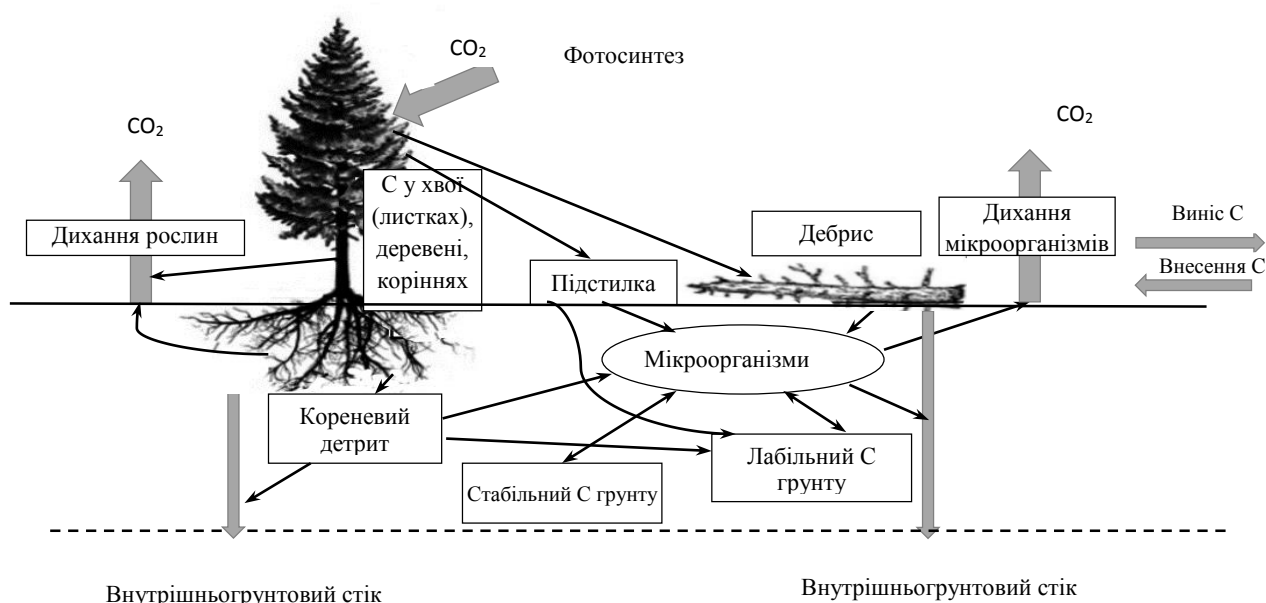


Рис.1.3 Резервуари вуглецю і основні потоки CO<sub>2</sub> в лісових екосистемах. [155].

Вуглецевий цикл дозволив по-новому оцінити біосферну роль лісів, так як серед біомів вони відіграють головну роль в CO<sub>2</sub> газообміні. У масштабі планети ліси щорічно продукують в процесі фотосинтезу 31,9 Гт вуглецю, що становить більше половини поглинання CO<sub>2</sub> надземними рослинами [262].

Ліси в значній мірі визначають функціонування біосфери. Збільшення концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері за останнє століття не супроводжується збільшенням запасів фітомаси рослинного покриву, що свідчить про втрату компенсаційних здібностей біосфери. Крім того, зменшення площі лісів через рубки і пожежі, відчуження лісових земель під різні види будівництва знижують акумуляцію вуглецю рослинним покривом. Ратифікація Україною в 2004р. Кіотського протоколу, відкриває нові перспективи в оцінці біосферної ролі національних лісів. Особливо це стосується Карпатського регіону, де зосереджено 22% лісового фонду України, отже оцінка ролі лісового покриву щодо поглинання вуглецю є особливо актуальною. Це може забезпечити високі екологічні та економічні переваги, оскільки питомі витрати на скорочення 1 тонни викидів  $\text{CO}_2$  в Україні в декілька разів нижчі, ніж в США і Японії [58].

У лісовій екосистемі потоки вуглецю розрізняються як за своїм кількісними показниками, так і в часовому аспекті. Основна увага у вуглецевому балансі приділяється деревному ярусу, з огляду на абсолютне домінування у величинах внеску в процес продукції рослинної біомаси. При повній оцінці вуглецевого циклу особливу увагу приділяють його потокам, пов'язаних з  $\text{CO}_2$  газообміном між рослинністю і ґрунтом, а саме відмирання рослинних фракцій, їх накопичення і розклад [238; 270].

### **1.3. Основні поняття**

Основними показниками вуглецевого циклу є його запаси в пулах екосистеми (розмірність  $\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$ ) та інтенсивність потоків С (г, кг,  $\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{м}^2$ ,  $\text{мг}\cdot\text{С}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{кг}\cdot\text{год.}$ ,  $\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$ ). При оцінці вуглецевого бюджету лісів як резервуарів вуглецю зазвичай розглядаються 4 пули (блоки): фітомаса лісової рослинності, детрит (мертвий органічний матеріал), ґрунтовий гумус та С ( $\text{CO}_2$ ) атмосфери [8; 35; 68; 207]. Кожен з цих пулів має складну фракційну структуру та пов'язаний потоками вуглецю з іншими пулами, атмосферою і гідросферою. Блок «фітомаса» поділяється на субблоки: деревостан, підріст, підлісок і живий надґрунтовий покрив. Кожен субблок характеризується певною фракційною

структурою фітомаси. Для деревостанів це - стовбури, кора, скелетна частина крони, листя (хвоя), коріння і репродуктивні органи. Для живого надґрунтового покриву - надземна частина і коріння.

Для лісових екосистем зібрано значну кількість матеріалів, що характеризують пул фітомаси та його річну продукцію [12; 25; 48; 39; 56; 100; 114; 115; 153; 180; 181; 182; 188; 197]. Біологічна продуктивність цього компонента вуглецевого циклу визначається біометричними і віковими показниками деревостанів [112]. За оцінками різних авторів діапазон зміни загальних запасів фітомаси становить від 22 до 600 т·га<sup>-1</sup> [15; 20; 25; 40; 48; 115; 117; 183; 185; 186; 187; 188; 197].

До блоку “ґрунт” входить фітодетрит і ґрунтовий гумус. Органічна речовина (ОР) ґрунту гетерогенна за походженням, морфологічними та біохімічними властивостями, що визначає різну стійкість його компонентів до біодеградації [138; 167].

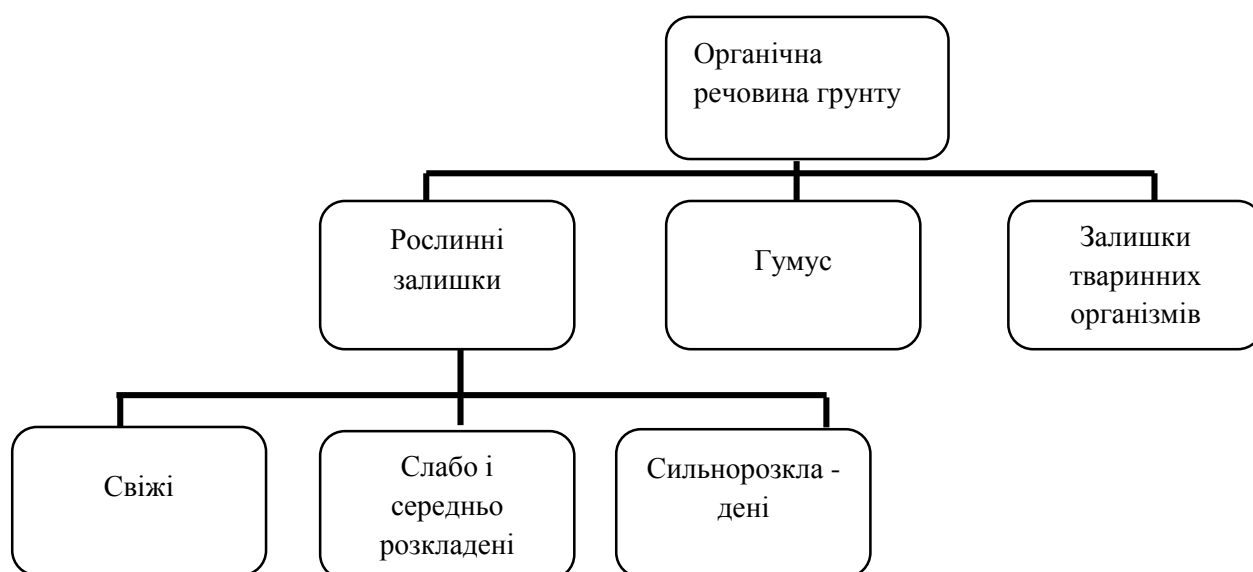


Рис 1.4 – Загальна група видів органічної речовини ґрунту [60].

Органічна речовина ґрунтів (ОРГ) за ступенем стійкості до біодеградації розділяється на дві фракції: 1) пул легкомінералізований (ЛМОР), або активна (лабільна) фракція, в яку входять найменш стійкі до мінералізації органічні продукти (ґрунтовий біоценоз, дрібнодисперсні рослинні, тваринні та мікробні залишки різного ступеня розкладу, більше половини новостворених гумінових речовин), які швидко вступають в біологічні процеси і в результаті їхнього

розкладу відбувається емісія CO<sub>2</sub> з ґрунту в атмосферу; 2) пул речовин, порівняно стійких до біодеградації (Сстаб.), або пасивна фракція, представниками якої є гумінові речовини, які становлять близько 70 - 85% усього запасу органічного вуглецю в ґрунті і утворюють стабільний резервуар ґрунтового вуглецю [35; 96; 97; 139; 172].

Також у складі легкомінералізованої органічної речовини, крім лабільної форми, виділяють рухома органічну речовину. [36; 61; 170; 173; 174; 175; 204; 205].

Легкомінералізована фракція ґрунтової органічної речовини є основним джерелом формування потоку вуглекислого газу в атмосферу і синтезу гумусових речовин. Лабільна органічна речовина характеризує також фітодетрит, до якого належать органічні залишки рослинного (стовбуровий фітодетрит (CWD) - сухостій, ламань, пні, лісова підстилка, мортмаса рослинного і тваринного походження, а також мікробна біомаса, що знаходяться як на поверхні, так і в товщі ґрунту [8].

Рухома ОР характеризує розчинні у водних і слаболужних розчинах продукти розкладу фітодетриту і гумусу ґрунту. У роботі В.Г. Добровольського, С.Я. Трофімова і С.Н. Сєдова [55] зазначено, що "понад 90% запасів вуглецю зосереджено в органічній речовині високого ступеня стійкості до розкладу" - стабільному гумусі ґрунту - сукупності у ґрунтовому профілі всіх органічних сполук, які включають в себе специфічні (гумінові) і неспецифічні речовини" [105; 140; 141; 177; 178]. Гумус відіграє значну роль у біосфері, оскільки є фізіологічно активним з'єднанням, формує і визначає фізичні та біологічні властивості ґрунтів [1;139;178]. Період повного оновлення гумусу верхніх горизонтів чорноземів становить 350-1000 років [93;95]; а сірого лісового ґрунту - 280 років [7].

За даними Н.І. Базилевич [9] і М.А. Глазовської [44], загальна маса вуглецю, закріпленого у формі детриту і гумусу в сучасній педосфері, становить  $2 \cdot 10^{12} \text{т} \cdot \text{С}^{-1}$ , що в 2,9 рази перевищує масу С в сучасній атмосфері і в 3.8 рази вище, ніж у біомасі надземної рослинності ( $0,5 \cdot 10^{12} \text{т} \cdot \text{С}^{-1}$ ). Згідно з даними К.П. Кобака [92], акумуляція атмосферного вуглецю ґрунтами у формі детриту і гумусу,

характеризується великою мінливістю по географічних поясах і біокліматичних областях: від 0,4 - в пустельних районах до 19,0 т·га<sup>-1</sup> в суббореального лісах.

Так, пул вуглецю в ОР ґрунтового покриву лісотундри і бореальних лісах Росії становить 114 т·С·га<sup>-1</sup>. На частку стабільного гумусу мінеральних горизонтів припадає 60,5 т·га<sup>-1</sup>, в рухомій ОР зосереджено 33,4 т·га<sup>-1</sup> і в фітодетриті (лабільній органічній речовині) на поверхні і в товщі ґрунту – 19,8 т·га<sup>-1</sup> [33; 35].

Вуглецеву ємність пулу детриту визначає річне надходження в підстилку опаду і великих деревних залишків (відпад), а також інтенсивність деструкційних процесів. Накопичення фітодетриту безпосередньо пов'язано з продуктивністю фотосинтезу [69]. Чернобай Ю. М. [201] зазначає, що нагромадження мортмаси у фітодетриті відбувається під впливом багатьох чинників, головними серед яких слід назвати склад деревостану, його місцезнаходження і продуктивність.

Фракції надземної фітомаси суттєво відрізняються за часом утримання депонованого С<sub>орг</sub>: для стовбура він становить десятки і сотні років, для листя – місяці. Відповідно, на відміну від листя, фракції стовбурної деревини, кори стовбура і гілок не одразу поповнюють запас підстилки, а на десятки років іммобілізуються у вигляді дебрису, який є другим за величиною наземним резервуаром С<sub>орг</sub> після живої фітомаси лісів. Час перебування вуглецю органічних сполук у ньому становить десятки і сотні років. В англійській літературі розрізняють грубі деревні залишки (*Coarse woody debris, CWD*) і великі деревні залишки (*Large woody debris, LWD*). Перший термін (CWD) вживається для характеристики мертвого деревного матеріалу на різних стадіях розкладу, розміщеного над землею, більшого, ніж 7,5 см в діаметрі [243; 277]. Другий (LWD) використовують для характеристики деревини (переважно стовбури дерев і великі гілки), що потрапила у водотоки. Останнім часом LWD ретельно вивчається, але, головне, в контексті біологічної ремедіації водойм [222; 236].

Функціонально дебрис (разом із опадом) є початком деструкційної ланки циклу вуглецю, яка забезпечує повернення в атмосферу вуглецю, депонованого в процесі фотосинтезу. Відповідно, фракціонування дебрису здійснюють за



декількома ознаками: структурними особливостями і часом утримання  $C_{орг}$ . Кудеяров та ін. [110] пропонують наступну класифікацію частин дебрису:

Сухостій є фракцією мортмаси в лісових екосистемах, що представлена відмерлими рослинами, які утримують вертикальне положення; зафіксовані власною кореневою системою чи опираються на сусідні рослини. Сухостій формується внаслідок природного відмирання (всихання) дерев з віком або спричиняється зовнішніми чинниками (зміна гідро-кліматичних умов, епіфітотії, враження шкідниками тощо). За даними Storaunet [278], період перебування у вертикальному положенні мертвих дерев може бути досить тривалим. Досліджуючи фракції дебрису в яличниках чорничних віком 80-160 років, автори встановили, що середній період стояння сухостою становить 20-34 роки, а у 20 % особин сягає 38-53 роки. Однак, як стверджують Пирогов Н. А. та Чирков Г. В. [146], за умов інтенсивного антропогенного навантаження на лісову екосистему, час перебування сухостою у вертикальному положенні становить 7-9 років, при чому спостерігається суттєве зменшення асиміляційного потенціалу екосистеми загалом.

Ламань представлена стовбурами і гілками дерев, а також їхніми залишками, що лежать на землі. Формування ламані може бути спричинене природним процесом старіння і відмирання дерев, за якого на землю падають як окремі особини (сухостій), так і поодинокі відмерлі гілки. Іншою причиною є розвиток стихійних явищ, що призводить до вітровалів, пожеж, аномально низьких температур тощо [179]. Важливо, що за цих умов до пулу ламані потрапляють не лише колишні сухостійні дерева, а й живі (до моменту падіння) особини, які характеризуються значно вищою стійкістю до мікробіологічного розкладу. Варто відзначити, що роль ламані як пулу  $C_{орг}$ , часто недооцінюють, що призводить до значних похибок в розрахунках балансу вуглецю на локальному та регіональному рівнях [241;]. Запаси ламані часто визначають розрахунково (за спеціальними таблицям) або як постійний відсоток відносно до біомаси [94]. Запаси вуглецю органічних сполук у складі ламані можуть сягати значних розмірів. За даними Климченко А.В. [91], в екосистемах стиглих і перестійних модринаків на деревину ламані припадає від 1,1 до 5,3 т·га<sup>-1</sup>, що становить

близько 5,2 % від загальноєкосистемних запасів, при чому в 380-річних модринах запаси ламані в 1,8-2 рази вищі, ніж у 110-літніх. Варто також відзначити, що запаси ламані в лісовій екосистемі визначені одним із найважливіших резервуарів поряд із біомасою над рівнем землі і біомасою нижче рівня землі й використовується комітетом лісового господарства ФАО в рамках програми оцінки лісових ресурсів [45].

Лісова підстилка - особливий горизонт ґрунтового профілю в лісових ґрунтах, результат складної взаємодії біогенної і абіогенної речовини. Відмирання рослинних органів (опад, відпад) і їх інтенсивна деструкція обумовлюють формування періодично оновлюваної ОР, що має відносно постійну величину [18]. Верхній підгоризонт лісової підстилки (L) щорічно поновлюється за рахунок фракцій фітомаси, які опадають, нижній - поступово трансформується в підгоризонт ферментації (F) і гуміфікації (H) [18; 19; 32; 79; 201].

При аналізі фракційного складу підстилки, як правило рослинні залишки розділяють на активну (хвоя, листя, насіння, мох, трава) і неактивну (гілки, шишки, кора) фракції [78; 79; 218; та ін.].

J.E. Smith і L.S. Heath [275], розробляючи модель депонування вуглецю в підстилках різних типів лісів США дійшли висновку, що на сьогоднішній день не існує чітко окреслених меж цього резервуару  $C_{орг}$ . Відсутність чітких критеріїв щодо розділенню лісової підстилки, дебрису і органічної речовини ґрунту призводить до ускладнення (а іноді неможливості) порівняння даних, отриманих різними дослідниками. Наприклад, різницю між дебрисом (CWD Coarse woody debris) і невеликим фрагментами деревини, що вже вважаються частиною підстилки, прийнято проводити на основі визначення діаметрів цих фрагментів. Але, як зазначають Rollinger et al. [268], в якості критерію приналежності до одного з названих пулів пропонуються розміри фрагментів від 1 до більш ніж 7 см. Така значна різниця призводить до суттєвих неточностей кількісної оцінки пулу  $C_{орг}$  в підстилці.

У складі кореневої мортмаси переважають важкі для ідентифікації рослинні залишки, частка мертвих коренів як правило не перевищує 20% [32;36;280]. Кореневий детрит в органічно-мінеральній частині ґрунту представлений

морфологічно важко ідентифікованим, різною мірою розкладеним мертвим корінням, деревиною, залишками кори, міцелієм грибів та іншими залишками рослинного походження. Збільшення запасів підземної мортмаси відбувається за рахунок злущення і відмирання кори, коренів, і грибного міцелію [134].

Крім підстилки і мертвого коріння, чимала роль у формуванні ЛОР відведена мікробній біомасі, [3; 33; 52; 134; 170], максимальна кількість якої фіксується в лісових підстилках, її діяльність впливає на ґрунтову родючість, забезпечує накопичення органічної речовини та елементів живлення, визначає інтенсивність деструкційних процесів. У мікробній біомасі міститься від 0,2 до 4,8% загального ґрунтового вуглецю [135].

Пули вуглецю - важливий, але недостатній компонент вуглецевого циклу. Для бюджету та балансу вуглецю лісових біомів більш значні, у порівнянні з пулами, вважаються потоки вуглецю [110; 142; 191; 269]. Пул органічної речовини в блоках забезпечується взаємодією двох груп процесів: фотосинтетичної асиміляції вуглецю атмосфери в продукції (NPP) та його звільнення і повернення в атмосферу в ході розкладу органічної речовини. Роль екосистеми в біосфері визначається співвідношенням інтенсивності цих процесів [36].

Основних потоки вуглецю розглядаються як витрати вуглецю атмосфери на асиміляцію в чистій первинній продукції, формування опаду і відпаду, звільнення вуглецю при деструкції мертвих органічних залишків, повернення в атмосферу при мінералізації легкомінералізуючої органічної речовини ґрунту, а також емісії вуглецю від лісових пожеж та інших негативних впливів, вивезення деревини при рубках, транспорт органічних речовин з водяними потоками. Перший із цих потоків характеризує прихід органічної речовини в пул фітомаси, а відповідно і поглинання (стік) вуглецю ліською рослинністю. Решта потоків характеризують переміщення вуглецю всередині лісових екосистем та його емісії в атмосферу.

Процеси, коли органічна речовина надходить на поверхню і в товщу ґрунту, поділяють на кілька категорій: мінералізація, гуміфікація, акумуляція і міграція. [29; 32; 35; 55; 168]. При розкладі ОР одночасно відбувається мінералізація органічної речовини рослинного матеріалу до кінцевих продуктів ( $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ ) і

синтез нових гумусових речовин - гуміфікація. Мікроорганізми та ґрунтові безхребетні переробляють підстилку, мертвий кореневий детрит, свіжо створенні гумусові речовини та власне гумус ґрунту, формуючи мінералізаційний потік вуглецю в атмосферу. Швидкість розкладу органічної речовини ґрунту визначається хімічним складом субстрату, складом мікробного угруповання, умовами середовища (аерацією, водозабезпеченням, температурою і рН). Розклад мертвих рослинних залишків в ґрунті та на її поверхні залежить від запасу хімічного та біохімічного складу матеріалу, що розкладається [126;127]. Деревний опад за концентрацією С мало відрізняється, а концентрація N в листі осики, берези і в хвої модрина в 1,5-3 рази вищою, ніж у хвої кедра, сосни і ялини [32]. У процесі біохімічної трансформації збільшується ступінь гуміфікації рослинних залишків, знижується концентрація С і зростає вміст N. В цілому, швидкість розкладу мертвих рослинних залишків у ґрунті нижче, ніж на її поверхні [22; 81].

Гуміфікація - процес утворення гумінових речовин з органічних залишків, щорічно в гумусоутворенні залучається не більше 0,4% від загальної кількості вуглецю, що бере участь у біотичному циклі [55]. Глобальна величина новоутворення гумусових речовин в ґрунтах, за оцінками авторів, становить 6% початкової маси опаду або 0,1% загального запасу вуглецю в органічній речовині ґрунтів [93]. Повернення вуглецю в атмосферу (гетеротрофне дихання, мінералізаційний потік), вилученого з неї в процесі фотосинтезу, забезпечує деструкційна ланка вуглецевого циклу.

Для території Росії сумарний потік органічного вуглецю з поверхні ґрунту приблизно дорівнює  $2200 \text{ Мт}\cdot\text{С}\cdot\text{рік}^{-1}$  [131]. Ці дані добре узгоджуються з результатами В.Н. Кудеярова [110], який оцінює параметри гетеротрофного дихання ґрунтів на рівні  $1840 \text{ Мт}\cdot\text{С}\cdot\text{рік}^{-1}$

Ґрунтове дихання відображає інтенсивність біохімічних процесів в яких продукується вуглекислий газ. Його емісія є сумарним результатом життєдіяльності мікроорганізмів і ґрунтової фауни, дихання коренів і окремих фізико-хімічних і хімічних процесів в ґрунтах [31].

У лісових екосистемах основним джерелом CO<sub>2</sub> в приземному шарі повітря є метаболічні процеси розкладу мертвих рослинних залишків у ґрунті і на її поверхні [129; 167]. У роботах Raich і Schlesinger [266], відзначена значна роль ґрунтового покриву в глобальному циклі вуглецю; так дихання ґрунту становить 0,05-0,07x10<sup>12</sup> т·С·рік<sup>-1</sup>, що є другим за величиною компонентом після первинної продукції (0,10-0,12x10<sup>12</sup>т·С в·рік<sup>-1</sup>).

Ряд дослідників [119; 237] відзначають більш важливу, порівняно з лісовими підстилками, роль дихання живих коренів в загальному потоці CO<sub>2</sub> з ґрунту в атмосферу. В емісії CO<sub>2</sub> з ґрунту внесок дихання живих коренів варіює в межах 6 - 80% і сильно залежить від видового складу угруповання, температури, фази розвитку рослин і забезпеченості їх елементами живлення [119]. За В.Н Кудеяровим [109; 110], коріння виділяють 1/3 кількості CO<sub>2</sub>, продукованого в ґрунті, мікроорганізми 2/3. Загалом, за вегетаційний період, дихання коріння приймають рівним 1/2 - 1/3 від величини потоку CO<sub>2</sub> з ґрунту [13].

О.Б. Шібістова з колегами [273], використовуючи метод мікропотоків пульсацій, на прикладі сосняка (200 р.) середньої тайги Центрального Сибіру, встановили, що величина ґрунтового дихання знаходиться в межах 66% всього дихання, в тому числі близько 30% припадає на кореневе дихання і близько 36% - гетеротрофне дихання.

Рослинний покрив також є одним з чинників, що визначає інтенсивність ґрунтового дихання. За Б.Н. Макаровим [122] ґрунт може забезпечувати більше половини всієї кількості вуглекислого газу, що засвоюється рослиною в процесі фотосинтезу, при цьому, чим вище інтенсивність дихання ґрунту, тим вище продуктивність фотосинтезу рослин, що свідчить про прямий зв'язок цих явищ.

При спостереженні за емісією CO<sub>2</sub> при розкладі лісових підстилок різного походження було виявлено, що частка органічної речовини ґрунту в сумарному потоці CO<sub>2</sub> становить 70 - 74% при розкладі підстилок ялинових і березових деревостанів і 56 - 60% при розкладі підстилок кедрових, соснових та модринових лісів [31]. Максимальною питомою швидкістю розкладу характеризуються підстилки листяних порід. Особливості їх біохімічного складу: менша концентрація лігніну, ліпідів і дубильних речовин [53; 125],

збагаченість свіжого опаду азотом, а також структурні особливості будови листя - основного компонента опаду листяних порід - обумовлюють їх перевагу в трофітному раціоні ґрунтових безхребетних [10].

Основна частина продуктів розкладу органічної речовини повертається в атмосферу у вигляді діоксиду вуглецю, інша надходить в ґрунт у формі водорозчинних низькомолекулярних органічних продуктів і складних продуктів гуміфікації - гумусових речовин, стійких до біодеградації [1; 53; 167].

Процеси, що визначають інтенсивність потоків  $\text{CO}_2$ , не можуть бути стаціонарними, коли прихід рослинних залишків з опадом і відпадом компенсується за той же термін мінералізацією і розкладом ОР в ґрунтовій товщі, включаючи лісову підстилку [200]. Процеси накопичення і деструкції органіки знаходяться в протифазі та сенситивно реагують на будь-які зміни в зовнішньому середовищі [107].

У дослідженнях вуглецевого циклу важливе значення має оцінка можливого виносу вуглецю з мігруючими розчинами за межі ґрунтового профілю. Розчини, які вимиваються за межі ґрунтового профілю - це сполуки як специфічної (фульвокислоти, фульватні комплекси), так і неспецифічної природи (поліфеноли, низькомолекулярні кислоти, амінокислоти, кислі полісахариди) [50; 83; 82; 84; 85; 87; 86; 88;]. Співвідношення з'єднань цих груп, як правило, залежить від пори року, ступеня зволоження і ряду інших факторів [86]. За оцінками Т.Т. Горбачової та Н.В. Лукиної [50] в ялинниках зеленомохових вміст органічного вуглецю в підстилкових водах варіює від 20 до 180 мг л<sup>-1</sup>, в водах з мінерального профілю від 5 до 30 мг л<sup>-1</sup>. Про це ж свідчать дані Е.Ф. Ведрової [28] отримані для сосняків. Під кронами дерев потік вуглецю значно інтенсивніший, ніж між кронами.

Якісні та кількісні параметри пулу  $\text{C}_{\text{H}_2\text{O}}$  характеризуються сезонною варіабельністю, пов'язаною зі зміною умов середовища, що визначають швидкість мінералізації рослинних залишків, періодичністю надходження і складом опадаючої фітомаси [50; 89; 135; 210].

Визначальними показниками вуглецевого циклу виступає чиста первинна продукція (NPP) – “вхід” вуглецю з атмосфери в екосистему і гетеротрофне

(Resp) та автотрофне дихання - повернення вуглецю в атмосферу. Їхнє співвідношення визначає величину чистої екосистемної продукції (NEP) і статус екосистем у біосфері, а саме чи виступають вони стоком для CO<sub>2</sub> атмосфери чи є його джерелом [168].

У лісових екосистемах, співвідношенню NEP, NPP і Resp властива вікова динаміка: у молодняках і середньовікових насадженнях  $NPP > Resp$ , починаючи з віку стиглості  $NPP = Resp$ , в перестійних лісах  $NPP \leq Resp$  [2; 34; 69].

У клімаксових екосистемах, коли  $NPP = Resp$ , забезпечується стабільність депо фітомаси та фітодетриту. Ці ліси не здатні позитивно впливати на стік вуглецю. Акумуляований у фітомасі вуглець загальмовує емісію C-CO<sub>2</sub>, пов'язану з депо детриту [175; 189]. Екосистеми, що перебувають у перехідному режимі характеризуються –  $NPP > Resp$  або  $NPP < Resp$ , протягом досить тривалого часу [175; 189].

Оцінки акумуляції CO<sub>2</sub> у хвойних лісах суттєво відрізняються. Так, середньорічна величина стоку C для стиглих ялинових лісів південної тайги варіює від 2,03 до 0,24 т·С·га<sup>-1</sup> [38], в лісових екосистемах півночі - від 1,67 до 1,71 т·С·га<sup>-1</sup> [16]. Для стиглих соснових лісів величина стоку може наближатись до 3,4 т·С·га<sup>-1</sup> [92]. В перестійних лісах одна група дослідників визначає нульовий баланс потоків вуглецю [33;254], друга - негативний (-1,8 т С га<sup>-1</sup>) баланс CO<sub>2</sub> [36; 176], третя - позитивний [33]. При порівнянні даних слід враховувати видовий склад, вік, структуру деревостанів, а також природно-кліматичні умови їх місцезростання та історію формування фітоценозу [76]. Величина річної продукції надґрунтового покриву лісових фітоценозів варіює в широких межах від 3-8% чистої первинної продукції в лісах південної тайги, до 77% в північній тайзі [17;176].

#### **1.4. Методи оцінки балансу вуглецю**

На даний час існує декілька підходів до кількісного визначення стоку вуглецю з атмосфери в екосистему. Перший полягає у визначенні стоку CO<sub>2</sub> за запасами і приростами ваговим методом (нетто фотосинтезу); другий - за аеродинамічними змінами (інтегральний розрахунок з урахуванням сезонних і

добових, геофізичних, фітоценотичних факторів); третій - газометричний за зміною вертикального градієнта концентрації CO<sub>2</sub> в ценозах; четвертий - хлорофільний метод, за вмістом хлорофілу на одиницю площі фітоценозу і за хлорофільним потенціалом [16; 69; 75; 132].

В основу більшості досліджень щодо визначення біотичної продуктивності деревостанів закладені методи обліку, використані в роботах А.А. Молчанова, і описані в “Програмі та методиці біогеоценотичних досліджень” [134].

Методичні підходи під час аналізу вуглецевого циклу наземних екосистем можна об'єднати в декілька груп: камеральні вимірювання, коли чиста екосистемна продукція (NEP) оцінюється для кожного компонента екосистеми: рослинність і ґрунт, метод потокових пульсацій (eddy covariance techniques), статистичний, екофізіологічний та біометричний. Кожен з методів має свої переваги і недоліки. Метод потокових пульсацій призначений для отримання довготривалих вимірювань чистої екосистемної продукції (NEP) в масштабах екосистеми. Проте дослідження показують, що при його використанні виникає ряд невизначеностей, пов'язаних з ненадійністю вимірювань нічного дихання через недостатнє змішування повітря вночі [242; 255]. Камеральні вимірювання чутливі до відбору зразків, але вони покращують розуміння внеску кожного процесу (NPP і Resp) в NEP [262]. Біометричний або балансовий підхід описаний у багатьох роботах і вважається традиційним [8; 154; 168; 175]. Найбільш значним недоліком цього методу є трудомісткість виконання і статичність одержуваних результатів. У числі переваг підкреслюється можливість оцінити внесок різних статей балансу вуглецевого циклу екосистеми. Поєднання цих методів - найкращий шлях розуміння просторових і часових трендів в балансі вуглецю [16;33;64;76;131;176;189;191; 258].

Визначення загального стоку вуглецю за хлорофільним індексом і екофізіологічними методами не може бути коректним через різноманіття деревостанів як за складом, так і структурою [189].

Результати точкових прямих вимірювань потрібно вважати порівняльними і додатковими. У реальних вимірах на пробних площах наближені значення NEP складаються із суми річних приростів, запасів живої та мертвої фітомаси (dPh +



dM), так як точно виміряти всю поточну NEP (річну) не є можливим навіть на постійних пробних площах [189; 191].

При оцінці потоків вуглецю необхідно враховувати, що за винятком ділянок, обмежених як в просторовому, так і в часовому масштабі, на даний момент не є можливим виміряти і оцінити запаси і потоки вуглецевого обміну між лісом і атмосферою. Завдання оцінки вуглецевого бюджету лісів істотно ускладнюється різноманіттям типів лісової рослинності і породно-віковою структурою насаджень [190].

В Україні до цього часу розрахунки фітомаси та вуглецю лісових екосистем виконуються за підсумками матеріалів державного обліку лісового фонду. В основу визначення депонування вуглецю покладено два методи: перший - за динамікою зміни запасів; другий - за таблицями ходу росту. Така інформативна база є недостатньою для проведення широкомасштабних досліджень щодо визначенню NPP, NEP, NBP, опаду і відпаду, для основних типів лісових екосистем. При проведенні лісової таксації детритний блок в основному ігнорують, лише проводять його облік в місцях значного накопичення [214; 206]. Такі підходи суттєво ускладнюють побудову балансових моделей вуглецю в лісових екосистемах і знижують точність оцінки пулів  $C_{org}$  загалом.

У лісовій екології краще всього вивчені великі потоки вуглецю, пов'язані з провідними процесами, до яких належать: продукування (надходження вуглецю в систему); відмирання органічної речовини (перехід вуглецю в детрит); депонування фітомаси - за різницею між продукуванням і відмиранням; розклад (деструкція) детриту; депонування детриту - за різницею між відмиранням і розкладом; гуміфікація [68;71].

На сьогоднішній день відомий ряд робіт з оцінки інтенсивності процесів трансформації органічної речовини ґрунтів [33; 35; 107; 110; 125; 144; 168; 176; 200; 201; 203; 213; 223; 277; 282]. На основі прямих вимірювань отримані кількісні оцінки запасів і потоків вуглецю для окремих лісових біогеоценозів [35; 107; 174; 201; 211; 258].

Ряд дослідників використовують сучасні методи математичного моделювання для прогнозування вуглецевого циклу [104; 115; 260]. Показана перспективність

визначення біомаси лісових екосистем та вмісту в них вуглецю за допомогою алометричних рівнянь [21; 114; 218].

Незважаючи на збільшення числа досліджень, спрямованих на вивчення параметрів вуглецевого циклу в лісових екосистемах, все ще відчувається нестача даних щодо запасів органічної речовини, акумульованого в під наметовому ярусі, коріннях деревних і трав'яних угруповань, в стовбуровому фітодетриті, швидкості мінералізації, міграції та гуміфікації органічної матеріалу. Все це і визначило мету проведеного дослідження.

Отримані результати запасів і потоків вуглецю можуть слугувати базою для параметризації математичних моделей, основою для створення та корегування регресійних рівнянь для визначення вуглецевого балансу та вуглецевої ємності окремих регіонів, зокрема Українських Карпат.

Також результати мають важливе прикладне значення, оскільки Кіотський протокол перетворює додатково накопичений (секвестрований) вуглець у товар (15 \$ за 1 т секвестрованого вуглецю) за рахунок проведення спеціальних лісогосподарських заходів, зокрема лісовідновлення не лише на лісових, але й на малопродуктивних деградованих сільськогосподарських землях карпатського регіону у разі їх заліснення.

## РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ СТРИЙСЬКО-СЯНСЬКОЇ ВЕРХОВИНИ

### 2.1 Фізико-географічна характеристика території дослідження.

Територія досліджень знаходиться в районі Стрийсько-Сянської Верховини, яка належить до Вододільно-Верховинської фізико-географічної області Українських Карпат.

Стрийсько-Сянська Верховина (розташована в межах Турківського і Сколівського районів Львівської області та частково в Івано-Франківській області України). Рельєф верховини характеризується м'якими формами гірських хребтів, що іноді набувають форм горбистого характеру та охоплює верхів'я рік Опору, Стрия, Дністра і Сяну [196]. На території чітко виражені два низькогірні хребти, що простягаються з північного заходу на південний схід і приурочені до кілевидних антиклінальних складок. Перший простягається вздовж правобережжя верхівів Сяну і фіксується вершинами Гостра, Щовб, Камянець, висота яких 700-800м. Другий хребет – це смуга слабовираженого низькогір'я з висотами до 700м, розташований вздовж лівого берега верхньої течії р. Дністер до межиріччя рік Нижня Яблулька – Стрий. Між цими хребтами у рельєфі Стрийсько-Сянської верховини збереглися сліди двох поздовжніх прадолин – Турківської й Боринської. Сліди першої долини простежуються від витоків Дністра до м. Турка і далі на південний схід. Боринська долина добре простежується у рельєфі від с. Бориня до сіл Н.Яблулька та Боберка і до р. Сян. Можливо, верхів'я р. Стрий (вище Борині) було в минулому верхів'ям пра-Сяну [196]. Ці долини стали основними шляхами давнього розселення людей й сільськогосподарського освоєння території [106].

У сучасному рельєфі ці прадолини являють собою розчленоване ерозією давньотерасове низькогір'я [149].

### 2.2 Кліматичні умови

На території Стрийсько-Сянської Верховини циркуляція атмосфери характеризується в основному пануючим західним переносом атлантичних повітряних мас, а також впливом континентальних та арктичних повітряних мас.

Взаємодія різних мас повітря призводить до циклонічної та антициклонічної діяльності, якій належить основна кліматотворча роль.

Величина сумарної радіації на території Львівщини дорівнює  $92,4 \text{ ккал см}^2$ , а в межах гірських районів – лише 60% від можливої, що зумовлено значною хмарністю [108]. Кількість годин сонячного сяння становить від 1480-1500 год. на висотах 400-700 м н.р.м. до 1100-1200 год. у межах 1000-1300 м н.р.м. [261].

Основним напрямком повітряних потоків на території Стрийсько-Сянської верховини є вітри західних румбів. За даними метеостанцій середньорічна швидкість вітру, відповідно, становить 1,8 і 2,7 м сек. [161]. Найвищою вона є протягом листопада-березня. Впродовж холодного періоду року формується найбільша кількість повітряних фенів, які зумовлюють підвищення температури та, одночасно, зниження відносної вологості.

Під впливом радіаційних і циркуляційних процесів та рельєфу на досліджуваній території формується помірно-континентальний клімат із нежарким літом, м'якою зимою, теплою осінню та надлишковим і достатнім зволоженням [4]. За даними метеостанцій середньорічна температура повітря коливається у межах  $+5,2 - +7,0^\circ\text{C}$ . За останні 60 років абсолютний максимум температури повітря становив  $+30^\circ\text{C}$ , абсолютний мінімум –  $-34^\circ\text{C}$  [59].

Дати весняного і осіннього переходу середньої добової температури через межі  $0, +5, +10, \text{ і } +15^\circ\text{C}$  є важливими характеристиками для вегетації рослин. На території Стрийсько-Сянської Верховини дати переходу середньої добової температури повітря через  $0^\circ\text{C}$  фіксовані навесні – 07-17.03 і восени – 22-30.11, через  $+5^\circ\text{C}$  – 06 – 15.04 і 21.10-02.11, через  $+10^\circ\text{C}$  – 01-10.05 і 19.09-02.10 і через  $+15^\circ\text{C}$  – 03.06-02.07 і 13-26.08 [98]. Тривалість періоду із середньою добовою температурою повітря понад  $0^\circ\text{C}$  (теплий період) становить 249-267 днів; загального періоду вегетації – 188 – 209, періоду активної вегетації – 131 – 153 дні. Середня тривалість без морозного періоду – менша ніж 120 днів, перший заморозок спостерігається в останній декаді вересня або в першій декаді жовтня. Сума активних температур (понад  $+10^\circ\text{C}$ ) коливається в межах  $1600-2200^\circ\text{C}$ , а величина гідротермічного коефіцієнта становить 2,5 [149].

Кількість опадів залежить від абсолютної висоти місцевості та положення відносно панівних вітрів, а також від експозиції схилів. Річна кількість опадів коливається від 841 до 960 мм. Переважна їх кількість припадає на теплий (IV-X місяці) період року. Значна кількість опадів сприяє активізації площинної, лінійної ерозії та сприяє активізації зсувів [149; 161].

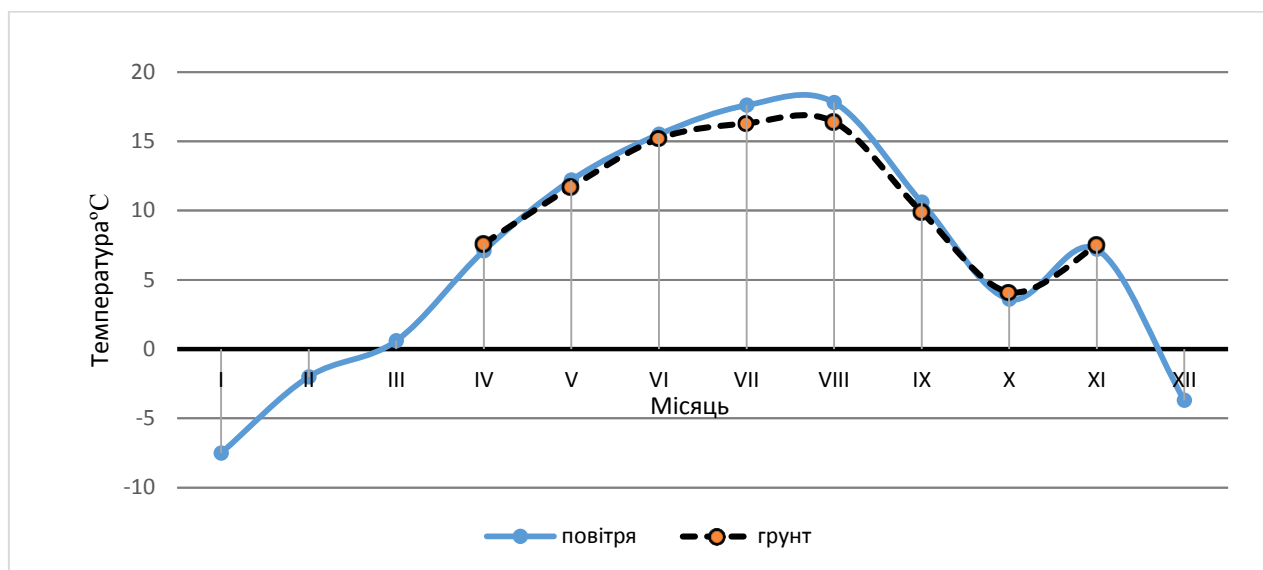
Формування снігового покриву має свої особливості, зумовлені частими відлигами, що супроводжуються дощами. На вершинах гір сніг переважно випадає наприкінці вересня, в долинах - у листопаді. Руйнування снігового покриву починається в березні, а інтенсивне танення з квітня. Повне сходження снігу у межах висот 600-1000 м н.р.м. відбувається в третій декаді квітня [4]. Тривалість снігового періоду в долинах становить 100-110 днів, на вершинах гір не менше 130 днів. Потужність або товщина снігового покриву в середньому становить 30 - 80 см, глибина промерзання ґрунту – 33 – 45 см. Іноді потужні снігопади та різкі коливання температури сприяють надмірному нагромадженню снігу у кронах дерев, що стає причиною частих сніголамів.

***Погодні умови в період досліджень.*** Характеристика погодних умов в період досліджень сформована за даними метеостанції в м. Турка (594 м н.р.м.).

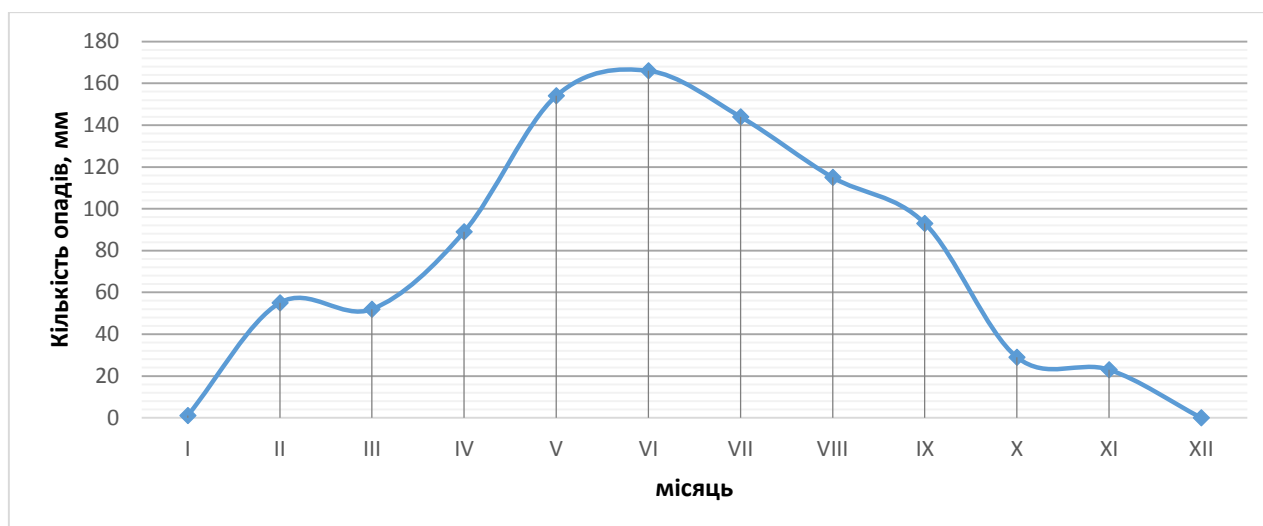
У 2010 році середня температура повітря становила +7,6 °С, що на 0,6°С є вищим від норми. Мінімальне значення температури мало місце в січні (-27 °С), максимальне в серпні (30,9 °С). З січня по серпень середньомісячна температура повітря поступово зростала з -7,2 до 17,8 °С (рис. 2.1 а), з серпня по жовтень спостерігалось зниження середньомісячних температур до -3,7°С, таке зниження було поступовим, за винятком листопада, де середньомісячна температура була вищою за жовтень на +3,6°С. Тривалість періоду із середньою добовою температурою повітря понад 0°С становила 244 дня. Температура ґрунту фіксувалася з квітня по листопад (період відсутності снігового покриву) і не виявлено суттєвої різниці середньомісячних температур повітря і ґрунту, лише максимальна різниця мала місце у серпні 1,4 °С (рис. 2.1, а).

Кількість опадів впродовж досліджуваного періоду становила 921 мм, основна частина яких випала з травня по серпень – 579 мм (63%.) (рис. 2.1, б) Для зимових

місяців характерною була найменша кількість опадів - 51 мм (6%). Загалом кількість опадів і їхній розподіл по місяцях знаходився в межах норми.



а) температура °C



б) кількість опадів, мм

Рис. 2.1 Середньомісячна температура ґрунту і повітря та кількість опадів (за даними метеостанції в м. Турка), 2010р.

### 2.3 Ґрунти

Ґрунтовий покрив території досліджень сформований на схилах різної крутизни та експозиції. Основними ґрунотвірними породами є елювіально-делювіальні відклади, які утворилися внаслідок вивітрювання карпатського флішу, тоді як алювіальні та делювіальні відклади, що зосереджені в долинах рік, займають незначні площі [5].

Ґрунтоутворення у Східних Карпатах відбувається за буроземним типом, тому на території Стрийсько-Сянської верховини основними є бурі лісові та дерново-буроземні. У структурі ґрунтового покриву незначні площі займають лучно-буроземні, дернові, болотні та гірські оторфовані ґрунти [106].

Залежно від інтенсивності поверхневого стоку, внутрішньої дренажності, форми рельєфу та висоти над рівнем моря, бурі лісові ґрунти мають різну глибину профілю і різний ступінь вилугованості та щербистості, а тому поділяються на глибокі, середньоглибокі та неглибокі, що має важливе значення в сільськогосподарському і лісгосподарському виробництвах.

Основними ознаками ґрунтів цього типу є бурий колір профілю, відсутність або слабка вираженість опідзолення [137]. За гранулометричним складом буроземі переважно легко – та середньосуглинкові, у верхньому горизонті міститься від 5 до 10% гумусу, характеризуються високою кислотністю та низьким ступенем насичення основами – 60%.

Дерново-буроземні ґрунти відрізняються від буроземів лісових наявністю дернового горизонту темно-сірого забарвлення. За гранулометричним складом переважно піщано – легкосуглинкові та середньосуглинкові, дерновий горизонт містить від 2 до 8% гумусу.

## **2.4 Рослинний покрив**

Ретроспективні дослідження Бескид дозволили визначити, що в їх корінному рослинному покриві домінували мішані букові з участю ялиці і ялини, рідко букові ліси. Усі вони займали близько 60% покритої лісом площі разом із буково-ялицевими лісами (близько 30%) утворювали фон рослинного покриву [12].

За геоботанічним районуванням Стрийсько-Сянська Верховина це район ялиново-букових і ялицево-ялиново-букових лісів [49]. На сучасному етапі цей район являє собою депресивну аграрно-лісову територію, де господарство було спрямоване на знищення лісів шляхом випалювання і розкорчовування, збільшенням площ пасовищ, а пізніше сінокосів і ріллі, внаслідок чого лісистість скоротилась майже вдвічі [12].

В результаті архаїчної, екстенсивної лісоексплуатації основна частина корінних лісових угруповань були змінені на похідні. Зміни відбулися не лише у видовому, а й у віковому складі лісових угруповань [106].

Сучасний рослинний покрив Стрийсько-Сянської Верховини представлений здебільшого антропогенними сільськогосподарськими або зміненими лісовими біоценозами. Особливо сильна трансформація лісових угідь розпочалась 150-200 років тому, у зв'язку із будівництвом залізничних доріг і експлуатації лісових ресурсів [235]. Лісовий покрив представлений в основному 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).



## РОЗДІЛ 3. ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1 Об'єкти досліджень

Досліджувані екосистеми були локалізовані на території двох кварталів (8; 38) підприємства “Боринське ЛГ” Львівського ОУЛМГ і розташовані в межах висот 650-710 м н.р.м. (табл. 3.1, рис.3.1). Тип лісорослинних умов в яких проводились дослідження - 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 ялинники на місці вирубаних корінних буково - ялицевих лісів (площі 1, 4, 5), до ялинників на землях, які використовувались як орні (площа 1)

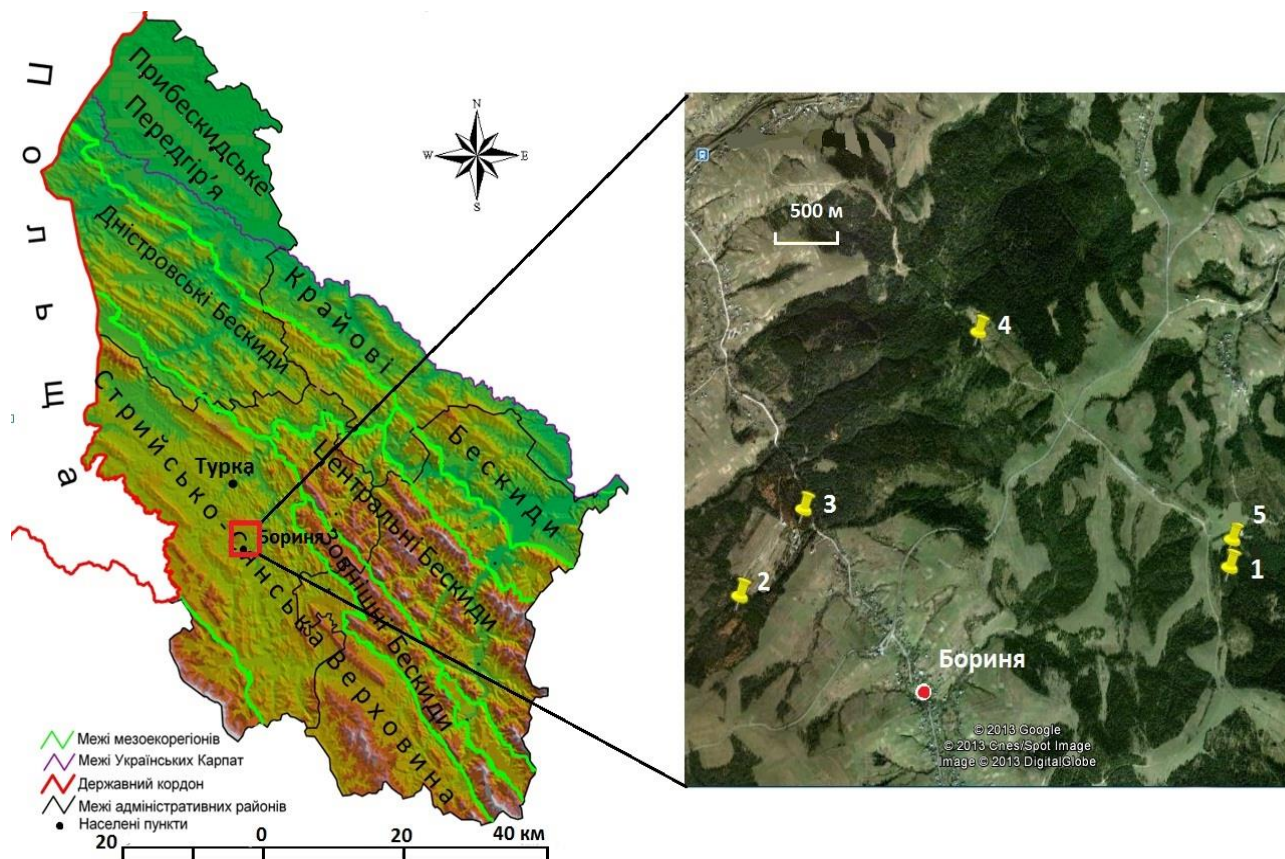


Рис.3.1. Розташування дослідних ділянок на території Стрийсько-Сянської Верховини:

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-папортевий

## Коротка характеристика та локалізація дослідних ділянок

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

### Пробна площа 1

Ялицево-буковий ялинник мертвопокривний (*Abieto-Fageto-Piceetum nudum*)  
Рослинний покрив: деревний ярус - *Abies alba* (A), та *Fagus sylvatica* (L.), *Picea abies* (L.) Karst, вік - 30 років.

Ярус підліску відсутній.

Чагарничковий покрив відсутній.

Зімкнений трав'яний покрив відсутній. Загальне проєктивне покриття трав'яного покриву становить менше 5%, а видовий склад не перевищує 10 таксонів. По краю посадки відбувається незначне проникнення *Rubus hirtus*

Ґрунт – бурозем лісовий кислий неглибокий середньосуглинковий на елювіально-делювіальних відкладах карпатського флішу.

Ґрунтовий профіль диференційований на горизонти:

Но	0-3 см	Підстилка з хвої, кори, гілок, плодів, листя бука
 Н	3-9 см	Гумусовий, темно бурий із сіруватим відтінком, середньосуглинковий, зернисто - грудкувата структура, ущільнений, вологий, пронизаний коріннями дерев, і трав, перехід поступовий із затіканнями
 Нр	9-28 см	Гумусовий перехідний, світло-бурий, середньосуглинковий, ущільнений, вологий, коріння дерев, плями окисного і закисного Fe (30-40%) перехід поступовий
 hP	28-65 см	Перехідний до породи, світло-бурий, із жовтим відтінком, середньосуглинковий, ущільнений, вологий, плями окисного і закисного Fe (30 - 40%) оглеєння з глибини 45 см.

## Пробна площа 2

Буковий ялинник папоротево-ожиновий. (*Fageto-piceetum dryopteridoso-rubosum (hirtae)*).

Рослинний покрив: деревний ярус - *Fagus sylvatica* (L.), *Abies alba* (A), *Picea abies*, середній вік - 45 років. підріст *Fagus sylvatica* та *Abies alba*.

Підлісок сформований поодинокими особинами *Lonicera xylosteum*, *Sambucus racemosa*, *Coryllus avellana*, *Rubus idaeus*, *Rosa pendulina*, *Daphne mezereum*. Зімкненість підліску становить до 0,1

Трав'яно-чагрничковий ярус із загальним покриттям 45-50% формують переважно, *Rubus hirtus* та *Vaccinium myrtillus*, частка яких у складі ярусу становить до 45%, а також види папоротей (*Dryopteris filix-mas*, *D. carthusiana*, *Athyrium filix-femina*), проективне вкриття яких становить до 25% від загального вкриття ярусу. Крім того, з участю до 5% трапляються *Homogyne alpine*, *Lysimachia nemorum* та *Mercurialis perenne*. Решта видів лісового різнотрав'я

трапляється поодинокі, хоча загальний видовий склад трав'яного ярусу досить значний і становить близько 50 видів судинних рослин.

Ґрунт – бурозем лісовий кислий неглибокий середньосуглинковий на елювіально-делювіальних відкладах карпатського флішу

Ґрунтовий профіль диференційований на горизонти:

Но	0-3 см	Підстилка з хвої, кори, гілок, плодів, листя травяного ярусу
 Н	3-17 см	Гумусовий, темно бурий із сіруватим відтінком, середньосуглинковий, зернисто - грудкувата структура, рихлий, свіжий, пронизаний коріннями дерев, і трав, перехід поступовий.
 Нр	17-52 см	Гумусовий перехідний, бурий, до низу світло – бурий, середньосуглинковий, ущільнений, вологий, до глибини 26 см плями окисного і закисного Fe, коріння дерев, перехід поступовий
 hP	52-72 см	Перехідний до породи, світло-бурий, вологий, щільний, зрідка коріння дерев, плями окисного і закисного Fe

### Пробна площа 3

Буково-дубовий ялинник зеленчуково-ожиновий. (*Fageto –Querceto –Piceetum Galeobdolosu - rubosum*)


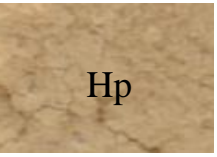
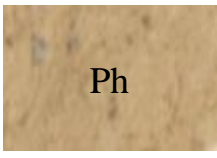
Рослинний покрив: деревний ярус формує *Picea abies*, *Quercus robur*, *Fagus sylvatica* віком 45-50 років. Ярус підліску не виражений, у ньому поодинокі представлені *Lonicera xylosteum*, *Sambucus racemosa*, *Sorbus aria*, *Rubus idaeus*, *Daphne mezereum*. Досить часто представлений підріст *Fagus sylvatica*, *Quercus robur*, *Acer pseudoplatanus*, *Populus tremula* заввишки до 0,5 м.

Проективне вкриття трав'яно-чагарничкового ярусу становить 50-55%. У його складі абсолютно домінує *Rubus hirtus*, участь якого у складі ярусу становить до

50%, до нього домішується з участю до 20% *Geleobdolon luteum*. Види папоротеподібних представлені *Driopteris filix-mas*, *D. carthusiana*, *Athyrium filix-femina*, однак їх участь у складі ярусу незначна й не перевищує 5-10%. Решта видів трав'яного ярусу представлені поодинокі. Загальна їх кількість сягає 45 таксонів.

Ґрунт – бурозем лісовий кислий неглибокий середньосуглинковий на елювіально-делювіальних відкладах карпатського флішу.

Ґрунтовий профіль диференційований на горизонти:

Но	0-4 см	Підстилка з хвої, кори, гілок, плодів, листя дуба, бука і трав'яного ярусу
 Н	4-19 см	Гумусовий, темно бурий із сіруватим відтінком, середньосуглинковий, грудкувато - горіхувата структура, рихлий, вологий, пронизаний коріннями дерев, і трав, перехід поступовий із затіканнями
 Нр	19-50 см	Гумусовий перехідний, бурий, до низу світло – бурий, середньосуглинковий, ущільнений, вологий, із плямами темно бурого забарвлення, коріння дерев, перехід поступовий
 Ph	50-67 см	Перехідний до породи, світло-бурий, ущільнений, вологий зрідка коріння дерев, включення дрібного щебеню менше 10%

#### Пробна площа4

Ялицевий-ялиничок ожиновий папоротево-ожиновий. (*Abieto – Piceetum dryopterioso – rubosum*)

Рослинний покрив: деревний ярус - *Abies alba*, *Picea abies* віком 70 років; Представлений значний підріст *Abies alba* віком до 10-15 років, зімкненість місцями до 0,3-0,4, Підлісок не виражений, у ньому представлені поодинокі



особини *Coryllus avellana*, *Lonicera xylosteum*, *Viburnum opulus*, *Sorbus aria*, *Rubus idaeus*, *Sambucus racemosa*.

Трав'яно-чагарничковий ярус з проєктивних покриттям до 75% формують *Rubus hirtus*, частка якого у складі ярусу сягає 80-90%, до якого домішуються в кількості не більше 10% види папоротеподібних *Driopteris filix-mas*, *D. carthusiana*, *Athyrium filix-femina*, та *Vaccinium myrtillus*. Решта видів судинних рослин представлені поодинокі, загальна їх кількість сягає 30 таксонів.

Ґрунт – бурозем лісовий кислий неглибокий середньосуглинковий на елювіально- делювіальних відкладах карпатського флішу.

Ґрунтовий профіль диференційований на горизонти:

Но	0-4 см	Підстилка з хвої, кори, гілок, плодів, листя трав'яного ярусу та нерозкладених і напіврозкладених решток
 Ht	4-9 см	Гумусовий оторфований, темно бурий, вологий, пронизаний коріннями чагарничків і дерев
 H	9-24 см	Гумусовий, бурий, середньосуглинковий, грудкувато-горіхувата структура, рихлий, свіжий, пронизаний коріннями дерев, і трав, перехід поступовий із затіканнями
 Hp	24-52 см	Гумусовий перехідний, бурий, до низу світло – бурий, середньосуглинковий, ущільнений, зволожений, із плямами темно бурого забарвлення, коріння дерев, перехід поступовий
 Ph	52-72 см	Перехідний до породи, світло-бурий, вологий, щільний, оглеєний, зрідка коріння дерев

## Пробна площа 5

Буково-ялиновий яличник ожиново-папоротевий. (*Fageto – Piceeto – Abietum ruboso - dryopteriosum*)


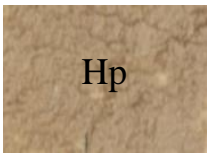
Рослинний покрив: деревний ярус - *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, *Abies alba* віком 110 років. Представлений рясний різновіковий підріст *Abies alba* та *Fagus sylvatica*.

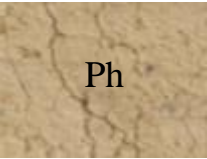
Підлісок нерівномірно розподілений і сформований поодинокими особинами, зімкненістю від 0,1 до 0,2, представлений: *Coryllus avellana*, *Sambucus racemosa*, *Lonicera xylosteum*, *Rubus idaeus*, *Sorbus aria*.

Трав'яно-чагарничковий ярус добре розвинений з проективним вкриттям 80-85%. У його складі домінують *Rubus hirtus* (25%), види папоротеподібних *Dryopteris filix-mas*, *D. carthusiana*, *Athyrium filix-femina* (до 30%), куртинами представлена *Impatiens nollitangere*. Решта видів представлені від 2-3% у покритті, або поодинокі. Загальна видова насиченість трав'яного ярусу становить близько 50 видів.

Ґрунт – бурозем лісовий кислий неглибокий середньосуглинковий на елювіально-делювіальних відкладах карпатського флішу.

Ґрунтовий профіль диференційований на горизонти:

Но	0-2 см	підстилка з хвої, кори, гілок, плодів, листя бука і трав'яного ярусу
 Н	2-17 см	Гумусовий, темно бурий із сіруватим відтінком, середньосуглинковий, грудкувато-горіхувата структура, рихлий, вологий, включення дрібного щебеню (0-2см) пронизаний коріннями дерев, і трав, перехід поступовий із затіканнями
 Nr	17-47 см	Гумусовий перехідний, бурий, до низу світло – бурий, середньосуглинковий, ущільнений, вологий, із плямами темно бурого забарвлення, коріння дерев, перехід поступовий

	47-75 см	Перехідний до породи, світло-бурий, вологий, щільний, зрідка коріння дерев, плями окисного і закисного Fe.
---	----------	--

## 3.2 Методи досліджень

### 3.2.1. Визначення запасу і структури органічної речовини в блоці “фітомаса”

Одним з найпоширеніших способів визначення фітомаси лісових екосистем на конкретних ділянках є метод, який базується на вимірюванні параметрів модельних дерев. За допомогою цього методу запаси фітомаси визначають з достатньо високою точністю [114;180]. Проте цей спосіб потребує значних затрат часу та є доволі трудомістким, тому впродовж останніх 10-15 років для оцінки фітомаси окремих дерев на дослідних ділянках використовують регресійні рівняння залежності фітомаси від породи, віку, бонітету, зімкнутості та регіону поширення. Регресійні рівняння, які отримані на базі фактичного матеріалу, забезпечують достатньо високу точність під час визначення фітомаси конкретних лісових ділянок, особливо якщо вони базуються на подеревній таксації деревостану на пробній площі [249]. З огляду на це, для усіх дослідних ділянок була проведена подеревна таксація за методикою статистичної інвентаризації [151] з використанням польової GIS Field-Map. Для визначення запасів компонентів фітомаси деревного ярусу використовували регресійні рівняння з нормативно-інформаційного забезпечення оцінки компонентів надземної фітомаси Українських Карпат [27;118]. Отже, для оцінки фракцій фітомаси (стовбур, гілки, листя (хвоя), скелетне коріння) різних порід в деревостанах, використовували відповідні регресійні рівняння:

$$Rv = a_0 \cdot A^{a_1} \cdot B^{a_2} \cdot \exp(a_3 \cdot A) - \text{бук (листя, гілки); дуб (листя, гілки, стовбур)}$$

$$Rv = a_0 \cdot A^{a_1} \cdot B^{a_2} \cdot P^{a_3} \cdot \exp(a_4 \cdot A + a_5 \cdot P) - \text{бук, дуб (коріння)}$$

$$Rv = a_0 \cdot B^{a_1} \cdot A(a_2 + a_3 \cdot P + a_4 \cdot P_2) - \text{ялина, ялиця (хвоя, гілки, стовбур, коріння);}$$



де:  $R_v$  - фракція фітомаси;

$a_i$  – коефіцієнти;

$A$  – вік, роки;

$B$  – бонітет;

$P$  – відносна повнота.

На репрезентативних ділянках закладались пробні площі круглої і прямокутної форми (площа 0,05- 0,25 га відповідно) та проводився суцільний облік та нумерація дерев. Деревами на пробній площі вважали:

- всі живі стоячі, або лежачі дерева та кущі, діаметр яких на висоті 1,3 м становить більше, або рівно 6 см ( $d_{1.3} \geq 6$  см) де середина дерева на висоті 1,3 м належать до кола, площа якого становить  $500 \text{ м}^2$  (горизонтальний радіус  $R=12.62$  м);
- мертві стоячі дерева і частини дерев (стовбури), якщо діаметр становить більше або рівно 7 см ( $d_{1.3} \geq 7$  см) і якщо знаходиться у колі радіусом від  $R=12.62$  м тобто у площі  $500 \text{ м}^2$ . Мертва частина дерева вважається стоячою, якщо кут нахилу становить не більше  $50$  (або  $45^0$ ) і стовбур ще з'єднаний з коренем;
- мертві лежачі дерева діаметр яких ( $d_{1.3} \geq 7$  см, або  $D_{1.3} \geq 36$  см), які ще з'єднані із кореневою системою та кроною дерева і місце заміру діаметра стовбура знаходиться у межах пробного кола.

До обліку входило: відстань між деревами, висота стовбура, визначення видового складу, діаметру дерев на висоті 1,3м, форма росту стовбура (живі дерева), довжина крони (живі дерева), злам крони (живі дерева), злам стовбура дерева (живі дерева), ступінь розкладу мертвої деревини.

Висока точність отриманих даних забезпечувалась використанням GIS технології Field-Мар з вимірювальними приладами (GPS, лазерний далекомір-високомір, електронна мірна вилка, екліметр, бусоль).

Облік підросту проводився на кругових мікропробах (горизонтальний радіус 1,78 м). Кількість пробних мікроплощ ( $n=3$ ). Підріст розділяли на три класи поновлення: 1-й – висота підросту 10 – 39,9 см; 2-й – висота підросту 40 – 129,9

см; 3-й – висота підросту  $\geq 130$  см, але до діаметра 6,9 см. Визначення запасу підросту здійснювали методом модельного дерева [134]. Моделі розділяли, на стовбур, гілки, листя (хвою), коріння, шишки і річний приріст.

Масу трав'яно-чагарничкового ярусу визначали методом укосів у фазі максимального розвитку рослин на площах розміром 1x1 м (n=5). Зразки класифікували за видами та висушували до повітряно-сухого стану.

Запас коріння трав'яно-чагарничкового ярусу та коріння деревного ярусу ( $d < 1$  см) визначали методом ґрунтових монолітів об'ємом 1500 см<sup>3</sup> з глибини 0-20 см.

Запас органічної речовини підземної частини блоку “фітомаса” дорівнює сумі запасів біомаси коренів деревостану, підросту, та трав'яно-чагарничкового ярусу

### **3.2.2. Визначення запасу і структури органічної речовини в блоці “ґрунт”.**

Запаси органічної речовини в блоці “ґрунт” вивчали за фракціями: легкомінералізуюча органічна речовина і стабільний гумус. Лабільна органічна речовина в основному представлена фітодетритом (ламань, великі гілки, лісова підстилка, сухостій, кореневий детрит).

В межах досліджуваних ділянок закладалися пробні площі розміром 3x3 м та проводився облік лежачого стовбурового фітодетриту (ламань) і пнів за 4-ма ступеннями (класах) розкладу (n=5). Розподіл проводили керуючись візуальними показниками стадій розкладу, та ступенем проникнення ножа в деревину [133;162;163;164;198;226;244;245;248].

Характеристика класів розкладу:

- 1 клас - свіжа деревина зелена (камбій ще живий), або міцна мертва деревина (відсутній сік дерева, тверда деревина, ніж важко заходить у деревину);
- 2 клас - прогнивши мертва деревина (ніж входить у напрямку волокон, деревина менш тверда і ніж проникає більше 1 см всередину, але у площинному напрямку леза ввести ніж ще неможливо);
- 3 клас - трухлява мертва деревина (ніж направлений вертикально

волокнам, деревина м'яка. Ніж входить у всіх напрямках більше 1 см;

- 4 клас - рихла мертва деревина (дуже рихла і порохнява деревина).

У лежачому стовбуровому фітодетриті вимірювали довжину і діаметри у двох протилежних кінцях [283]. Запаси і компонентний склад сухостою визначали за таксаційними даними, з використанням регресійних рівнянь.

Для визначення щільності і маси сухої речовини ламані відбирались зразки (n=5) для кожного класу розкладу.

Запас коріння пнів приймали рівним запасам коріння сухостою (з врахуванням діаметра і породи)

Щільність деревини різних класів розкладу визначали парафіновим методом [147]. Суть методу є в тому щоб виміряти виштовхувальну силу зразків, занурених в воду, шар парафіну запобігає проникненню води в деревину останніх стадій розкладу.

Оцінка запасу великих гілок (1-7 см) проводили за методом пересічених ліній, розробленим Ван Вагнером [279] і Брауном [228; 229]. Довжина лінії 10 м. Розрахунок їхнього запасу на одиницю площі проводили за формулою:

$$W = \frac{\pi^2 \times S \sum d^2}{8L}$$

де - W-маса на одиницю площі;

S - об'ємна маса, кг / см<sup>3</sup>;

d-діаметр гілки, см;

L-довжина пробної лінії, м.

Для визначення запасів лісової підстилки (відбір зразків - початок весни, кінець осені) на пробній площі проводили за допомогою шаблону 25x25 см (n = 25), [154] з попередньо зрізаною зеленою частиною надґрунтового покриву. В лабораторії зразки розбирались по фракціях (листя, хвоя, гілки, плоди). Залишки просіювали через сито (розмір отворів 1мм). Органічна маса діаметром менше 1мм характеризувала Н горизонт (шар гуміфікації). Кожна фракція зважувалася, визначалась її вологість і розраховувалась суха маса.

Кореневий детрит в орґано-мінеральній частині ґрунту вивчали за фракціями кореневого детриту сухостою, пнів та морфологічно важко ідентифікованими,

різною мірою розкладеним мертвим корінням, залишками кори та іншими залишками рослинного походження.

Методика відбору зразків ґрунту для проведення лабораторних аналізів визначалася відповідно до характеру дослідження. Зразки відбирали з генетичних горизонтів ґрунтового розрізу, просіювали через сито з діаметром отворів 3мм для відокремлення щебеню, коренів рослин, нерозкладених решток, переносили в у поліетиленові пакети, щільно закривали і зберігали до проведення аналізів при 4°C не більше ніж продовж 10 днів з моменту відбору [225].

Для вивчення сезонної динаміки досліджуваних параметрів зразки відбирали з гумусо-акумулятивного горизонту під час вегетаційного періоду з квітня по листопад. Усі аналізи проводили з вологими зразками, без попереднього висушування [14].

### **3.2.3. Оцінка інтенсивності основних потоків**

#### **а) приріст біомаси, NPP**

Для розрахунку приросту біомаси стовбурової деревини використовували рівняння [274; 26; 114]

$$dTIV = b_1 b_2 b_3 [1 - \exp(-b_2 A)]^{(b_3 - 1)} \exp(-b_2 A)$$

де: dTV – загальний приріст стовбура;

A – вік;

d – середня повнота деревостанів;

b<sub>i</sub>-розраховувалися за формулами:

$$b_i = b_i N^2 + b_i d^2 + b_i d + b_i d N + b_i$$

де: - b коефіцієнти

N- індекс бонітету.

Приріст гілок, хвої (листя), коріння визначали за процентним співвідношенням від приросту стовбуру, яке отримали за результатами досліджень приросту мішаних лісів на території Бескидського регіону (Українські Карпати) [12].

Приріст коріння дерев приймався рівним півсумі поточного приросту (в відсотках) стовбурів і гілок [74].

Приріст надґрунтової частини підросту визначали за окремими модельними деревами.

Перед визначенням приросту трав'яно-чагарничкового ярусу описували життєві форми, видову структуру, проективне вкриття рослин, що формують цей ярус. Рослини розділялися на фракції (листя, пагони, коріння), за літературними даними щодо онтогенезу рослин, визначали приріст та відпад поточного року. Через незначні запаси мохового ярусу його приріст не враховувався.

Приріст і опад коріння трав'яно-чагарничкового ярусу прийняли за  $\frac{1}{2}$  від їх запасу [17;234].

Величину NPP визначали шляхом множення величини приросту на коефіцієнт 0,6 [284].

#### **б) опад і відпад**

Для обліку опадів деревного ярусу на кожній пробній площі закладались опадовловлювачі  $0,5 \times 0,5$  м<sup>2</sup> (n=10). Відбір зразків проводився щомісячно протягом вегетаційного періоду, опад зимового періоду відбирався в березні. Зразки розбирались по фракціях (листя, хвоя, гілки, плоди), висушувались та зважувались.

Інтенсивність надходження відпаду приймали, із огляду на тривалість стояння сухостою ялини, який становить 10 років і не залежить від діаметру [146].

Опад коріння деревного ярусу визначали відштовхуючись від концепції, що співвідношення приросту надземної і підземної частини фітомаси деревостану зберігається і для його опадів.

#### **в) інтенсивність деструкційних процесів**

Визначення емісії CO<sub>2</sub> з поверхні ґрунту проводилась в лабораторії при t - 18°C (n=5) з подальшим перерахунком на середньомісячні температури ґрунту досліджуваних ділянок. Емісію вуглецю за період з температурою ґрунту нижче

0°C враховували як 10% від потоку при температурі +5°C [120]. Інтенсивність потоку CO<sub>2</sub> з підстилки, 0-20 см шару ґрунту та вклад в емісію кореневого детриту визначали у відібраних ґрунтових монолітах об'ємом 1500 см<sup>3</sup>, методом макрореспірометрії з титрометричним закінченням [67]. Як абсорбент вуглекислоти, використовували 0,1М розчин КОН, титрування виконували в присутності 1% фенолфталеїну 0,05 М розчином НСІ. Розрахунки проводили за формулою:

$$X = \frac{(a-b) \cdot 44 \cdot n [(1-d/D) \cdot 100 - B \cdot d]^2}{S_n \cdot t}$$

- де:
- X - CO<sub>2</sub> г м<sup>-2</sup>·24·год<sup>-1</sup>
  - (a-b) - різниця в кількості кислоти, використаної на титрування луку в контрольному та дослідному вимірюваннях, мл
  - 44 - кількість CO<sub>2</sub>, еквівалентна 1 мл 1н кислоти
  - n - нормальність кислоти
  - d - щільність будови, г·см<sup>-3</sup>
  - D - щільність твердої фази, г·см<sup>-3</sup>
  - B - вологість досліджуваного шару, %
  - S<sub>n</sub> - площа перерізу патрубку, см<sup>2</sup>
  - t - час експозиції, год

Визначення потоку CO<sub>2</sub> з поверхні CWD проводили аналогічним методом з використанням камери, в яку поміщали зразки однакового об'єму (I-IV стадій розкладу) (n=3).

Для визначення водорозчинних продуктів розкладу підстилки і їх міграцію по ґрунтовому профілю використовували метод “вмонтованих лізиметрів” [209] із розмірами вловлювальної посудини 30x30см. Лізиметри встановлювались під підстилкою і на глибині 20 см. Ніші із встановленими лізиметрами ретельно засипались ґрунтом забраним в процесі встановлення. Відбір лізиметричних вод проводився щомісячно протягом вегетаційного періоду, лізиметричні води зимового періоду відбирались в березні.

### 3.2.4 Інші ґрунтові аналізи

Визначення вмісту органічного вуглецю в ґрунті проводили за Нікітіним [148], для Н горизонту (n=10), для нижніх горизонтів (n=5)

Визначення загальної мікробної біомаси проводили регідратаційним методом (n=30) [14], шляхом висушування зразків ґрунту й наступної їх регідратації 0,5 н  $K_2SO_4$ . Вміст органічної речовини в сольових витяжках визначали методом біхроматного окислення (1,28 г  $K_2Cr_2O_7$  розчиняли у 400 мл  $H_2O$  і 2000 мл концентрованої  $H_2SO_4$ ). Розрахунок  $C_{\text{біомаси}}$  проводили за формулою:

$$C_x = (C - C_0) / k_c,$$

де:  $C_x$  - С біомаси ґрунтового зразка, мкг

$C$  - С регідратованого зразка, мкг

$C_0$  - С нерегідратованого зразка, мкг

$k_c$  - 0,25 (коефіцієнт перерахунку частки клітинної речовини, яка переходить у розчин під час регідратації)

Вміст водорозчинних органічних речовин в рослинних і ґрунтових зразках визначали згідно методики ДСТУ 4731: 2007 [57].

В ґрунтових зразках, окрім С органічного і С рухомого, визначали: гігроскопічну вологу, гранулометричний склад за Качинським [90], актуальну і потенційну кислотність, щільність будови.

### 3.2.5 Розрахунок чистої екосистемної продукції (NEP)

Величина чистої екосистемної продукції (NEP) визначалась як різниця між інтенсивністю приросту фітомаси (NPP) і інтенсивністю деструкційних процесів, що забезпечують повернення акумульованого рослинністю  $CO_2$  в атмосферу (гетеротрофне дихання Resp).

Комп'ютерне опрацювання результатів досліджень проводили з використанням програми MS Excel 2013 з надбудовою AtteStat 12.1.7. У роботі прийнято 5% рівень значущості ( $P < 0,05$ ).

## РОЗДІЛ 4. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗАПАСІВ ФІТОМАСИ ТА ФІТОДЕТРИТУ В ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ СТРИЙСЬКО-СЯНСЬКОЇ ВЕРХОВИНИ

### 4.1 Блок “фітомаса”

Важливою біосферною функцією лісових екосистем є зв'язування вуглекислого газу атмосфери та депонування його в компонентах фітомаси. Одним із основних способів оцінки цієї функції на регіональному рівні є встановлення продуктивності лісових екосистем за запасами живої фітомаси. Вивченням запасів фітомаси і її продуктивності в Українських Карпатах присвячено низку робіт [12; 25; 27; 42; 48; 100; 115; 117; 197]. Для адекватної оцінки кількості та ефективності фотосинтетичної асиміляції запас фітомаси визначалися з урахуванням її ярусної структури: деревостан, підріст і живий надґрунтовий покрив.

#### 4.1.1 Деревний ярус

Фітомаса деревного ярусу визначалася за допомогою регресійних рівнянь з урахуванням фракційної структури фітомаси: стовбур, гілки, листя (хвоя), коріння. Встановлено, що деревостани досліджуваних екосистем характеризуються різним загальним і компонентним запасом.

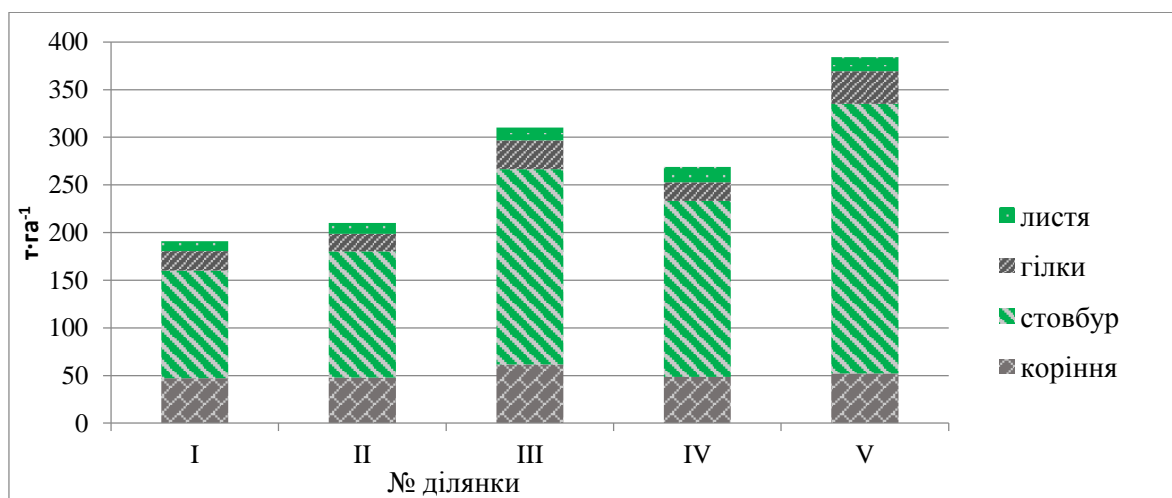


Рис. 4.1. Запаси компонентів фітомаси деревного ярусу в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, т·га<sup>-1</sup>



*I – 30-ти річний ялицево-буковий ялинник мертвопокровний; II – 45-ти річний буковий ялинник папоротево-ожинний; III – 50-ти річний буково-дубовий ялинник зеленчуково-ожинний; IV – 70-ти річний ялицевий-ялинник ожинний; V – 110-ти річний буково-ялиновий яличник ожинно-папортевий.*

Запаси фітомаси становлять від 190,93 до 384,28 т·га<sup>-1</sup> (табл. 4.1, рис.4.1). Фітомаса ялини, яка є переважаючою породою в досліджуваних екосистемах, становить від 10 до 91,2% загального запасу органічної речовини, депонованого деревним ярусом, тоді як частка ялиці становить від 0 до 80,6% (Рис. 4.2).

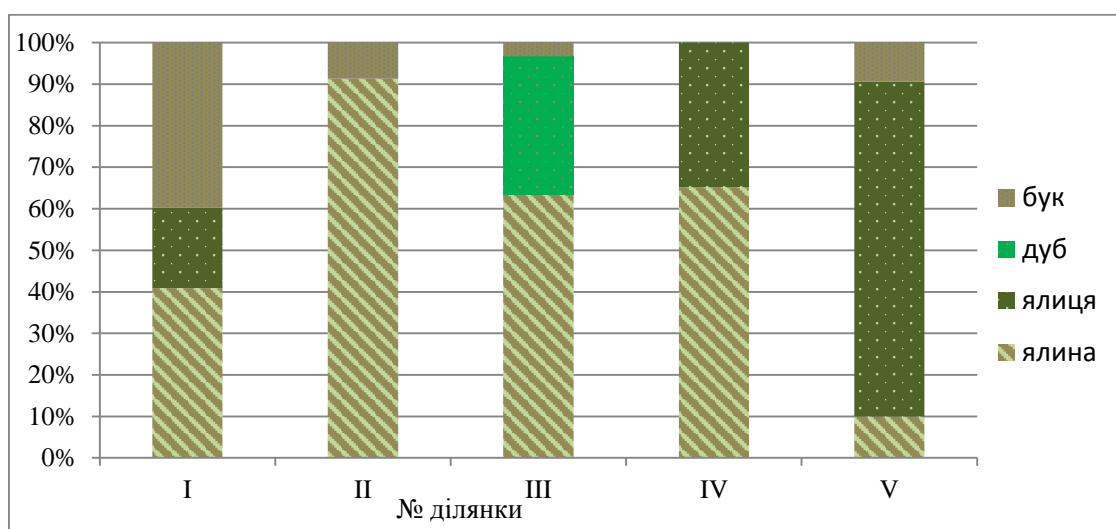


Рис.4.2 Співвідношення запасів фітомаси по породах в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, т·га<sup>-1</sup> (назви діл. див. рис 4.1)

Основна частина фітомаси деревного ярусу (59-74%) зосереджена в стовбуровій деревині. Абсолютне значення її маси з віком збільшується від 112,94 до 282,98 га<sup>-1</sup> (рис.4.3, табл.4.1).

В умовно корінному буково-ялиновому яличнику віком 110 років запас фітомаси деревного ярусу становить 384 т·га<sup>-1</sup>. Основна частина припадає на ялицю 309,93 т·га<sup>-1</sup>, що становить 80,6% від усього деревного запасу, участь ялини та бука відповідно 10 і 9,4%. Частка стовбурової фітомаси є найбільшою (289,98 т·га<sup>-1</sup>), що відповідає 74% від усього запасу. У 70-ти річному ялицевому-ялиннику загальна маса деревостану становить 269,08 т·га<sup>-1</sup>, з неї на стовбури припадає 184,80 т·га<sup>-1</sup> (70%). Найменша фітомаса деревного ярусу акумульована у ялицевому ялиннику (30 р.) - 190,93 т·га<sup>-1</sup>, де на стовбури припадає 112,94 т·га<sup>-1</sup>, що є найменшою часткою серед досліджуваних екосистем (59%).

Запаси фітомаси деревного ярусу в досліджуваних лісових екосистемах  
Стрийсько-Сянської Верховини, т·га<sup>-1</sup>, 2010 р.

Порода	Крона			Стовбур	Надземна фітомаси	Коріння	Деревостан
	хвоя (листя)	гілки	разом				
<b>30-ти річний ялицево-буковий ялинник мертвопокривний</b>							
Ялина	5,93	8,10	14,03	45,38	73,45	18,68	78,09
Ялиця	2,80	3,78	6,58	21,46	34,62	8,82	36,86
Бук	1,73	8,60	10,33	46,10	66,77	19,54	75,97
<b>Разом</b>	<b>10,47</b>	<b>20,48</b>	<b>30,95</b>	<b>112,94</b>	<b>143,89</b>	<b>47,04</b>	<b>190,93</b>
<b>45-ти річний буковий ялинник папоротево-ожиновий</b>							
Ялина	11,16	16,74	27,90	120,48	148,38	43,50	191,88
Бук	0,22	1,94	2,16	11,88	14,04	4,30	18,34
<b>Разом</b>	<b>11,38</b>	<b>18,68</b>	<b>30,06</b>	<b>132,36</b>	<b>162,42</b>	<b>47,80</b>	<b>210,22</b>
<b>50-ти річний буково-дубовий ялинник зеленчуково-ожиновий</b>							
Ялина	12,09	18,14	30,23	130,62	160,85	36,28	197,13
Дуб	1,22	11,04	12,26	67,40	79,66	23,20	102,86
Бук	0,13	1,12	1,25	6,84	8,09	2,12	10,21
<b>Разом</b>	<b>13,44</b>	<b>30,30</b>	<b>43,74</b>	<b>204,86</b>	<b>248,60</b>	<b>61,60</b>	<b>310,20</b>
<b>70-ти річний ялицевий-ялинник ожиновий</b>							
Ялина	10,58	12,68	23,26	120,48	143,74	31,70	175,44
Ялиця	5,64	6,76	12,40	64,32	76,72	16,92	93,64
<b>Разом</b>	<b>16,22</b>	<b>19,44</b>	<b>35,66</b>	<b>184,80</b>	<b>220,46</b>	<b>48,62</b>	<b>269,08</b>
<b>110-ти річний буково-ялиновий яличник ожиново-папоротевий</b>							
Ялиця	12,93	23,30	36,23	232,94	269,17	40,76	309,93
Ялина	1,60	2,84	4,44	28,80	33,24	5,02	38,26
Бук	0,42	7,96	8,38	21,24	29,62	6,46	36,08
<b>Разом</b>	<b>14,96</b>	<b>34,10</b>	<b>49,06</b>	<b>282,98</b>	<b>332,04</b>	<b>52,24</b>	<b>384,28</b>

Подібне співвідношення характерне для букового ялинника, загальні запаси фітомаси деревного ярусу в якому становлять  $210,22 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ , маса стовбура  $132,36 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  (63%) та для буково-дубового ялинника віком 50 років фітомаса деревостану  $310 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  із часткою стовбурової фітомаси  $204,86 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  або 66%.

Отже із збільшенням віку деревостану спостерігається збільшення частки стовбура до загальної фітомаси.

Живі частини крони (гілки, хвоя і листя) є активною частиною деревостанів. Вони відіграють суттєву роль в обміні речовин між організмом і навколишнім середовищем, обумовлюють формування в лісі своєрідних мікрокліматичних умов, що надає потужного впливу лісотвірним процесам під пологом лісу, ярусу підліску, живому надґрунтовому покриву.

В досліджуваних лісових екосистемах у залежності від віку та типу деревостану накопичується від  $18,68$  (буковий ялинник (45 р.) до  $34,10 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  (буковий-ялиновий яличник (110 р.), фітомаси представлені живими гілками деревного ярусу.

У 30-ти річному ялицево-буковому ялиннику, 50-ти річному буково-дубовому ялиннику і 70-ти річному ялицевому ялиннику запаси гілок становлять, відповідно,  $20,48$ ;  $30,30$  та  $19,44 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ .

У структурі запасів деревостану величина фітомаси гілок змінюється від 7 до 11%. Спостерігається чітка залежність між масою гілок та віком деревостану. Найбільші запаси виявлено в 30-ти річному ялицево-буковому ялинику - 11% , у 50-ти річному буково-дубовому ялиннику - 10%, однакові (9%) запаси гілок у 45-ти річному буковому ялиннику і 70 - ти річному ялицевому-ялиннику, тоді як в 110-ти річному буково-ялиновому яличнику лише – 7%.

Таким чином, загальний запас живих гілок відносно суми надземної і підземної фітомаси дерев з віком зменшується, що зумовлено домінуванням хвойних порід, в яких із збільшенням віку частка гілок у загальній масі деревного ярусу зменшується. На відміну від листяних порід, такий процес є оберненим, про що засвідчать дані отримані для екосистеми з більшим домішком бука чи дуба.

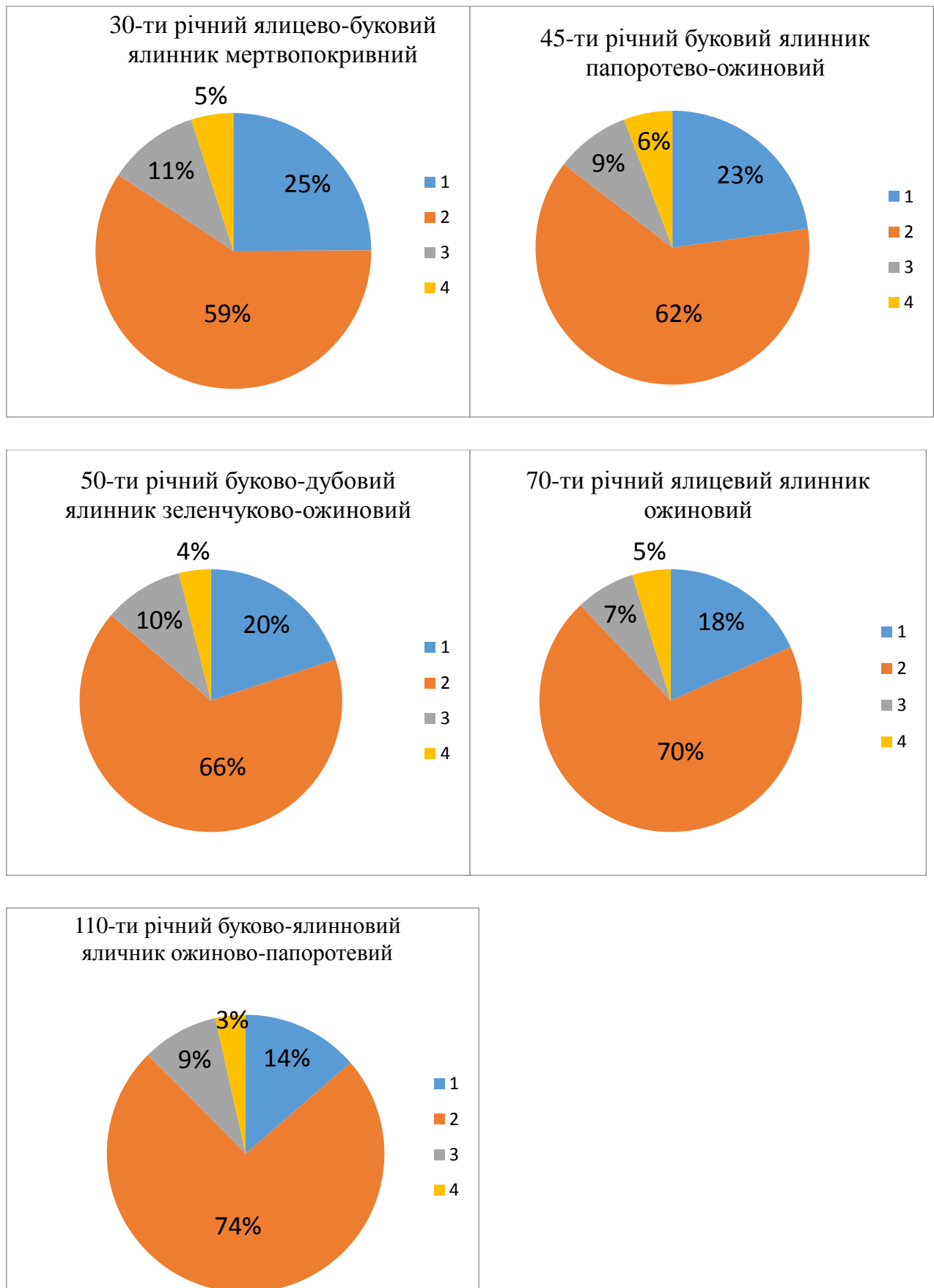


Рис 4.3. Співвідношення компонентів фітомаси деревного ярусу в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини т·га<sup>-1</sup> де: 1- коріння; 2-стовбур 3;- гілки 4 листя (хвоя).

Хвоя (листя) - один з найважливіших компонентів фітомаси деревостану, який відповідає за дихання й інтенсивність процесів фотосинтезу (визначає величину продуктивності рослинного угруповання) та інтенсивність надходження органічної речовини на поверхню ґрунту.

Виявлено, що абсолютна кількість маси в зелених органах (листя, хвоя) не залежить від загальної кількості фітомаси досліджуваних деревостанів і змінюється у відносно вузьких межах - 10,47-16,22 т·га<sup>-1</sup>. Однак із збільшенням віку спостерігається тенденція до зменшення частки асимілюючих органів у загальних запасах деревостану. Найбільша їх частка характерна для 45-ти річного букового-ялиничка - 6%, в 70-ти річному ялицевому ялиничку вона становить 5%, а в 110-ти річному буково-ялиновому яличнику лише 3%. У деревостанах із значною домішкою листяних порід такої закономірності не виявлено. Так, у 50-ти річному буково-дубовому ялиничку, де частка листяних порід становить 37% від складу деревостану, частка листя і хвої сягає 4%, в 30-ти річному ялицевому-ялиничку - 5%. Схожі результати щодо залежності частки асимілюючих органів у загальній фітомасі деревостану від його породного складу. отримано дослідниками лісових екосистем з інших регіонів [111; 114; 124; 154; 265].

Значний внесок у запас фітомаси деревостану забезпечує підземна фітомаса - коренева система деревних рослин. У досліджуваних екосистемах на корені припадає від 47,06 до 61,60 т·га<sup>-1</sup>. Із збільшенням віку деревостану спостерігається збільшення маси скелетного коріння, проте найбільший його запас був виявлений у 50-ти річному буково-дубовому ялиничку - 61,60 т·га<sup>-1</sup>, що зумовлено значним вкладом коріння дуба червоного, у якого добре розвинена коренева система. [118].

У структурі деревостанів досліджуваних екосистем частка коріння має чітку залежність від віку деревостану. Так, у 30-ти річному ялицево-буковому ялиничку вона становить 25%, із збільшенням віку (45-ти річний буковий ялиничок) зменшується до 23% і є найменшою у 110-ти річному буково-ялиновому яличнику (14%). Тобто, зі збільшенням стиглості деревостану спостерігається зменшення відносних запасів скелетного коріння.

Наші розрахункові дані щодо зменшення частки скелетного коріння у загальній фітомасі деревостану із збільшенням його віку узгоджуються із фактичними даними Голубця М.А., що були отримані в польових дослідженнях. Це є свідченням можливості застосування регресійних рівнянь нормативно-інформаційного забезпечення оцінки компонентів надземної фітомаси штучних ялиників [27;118] для конкретних дослідних ділянок Українських Карпат.

Отже, запаси фітомаси деревостанів у досліджуваних екосистемах змінюються в межах 384,28 – 210,22 т·га<sup>-1</sup>, основний компонент якої припадає на стовбури – 59-74%. Виявлено збільшення фітомаси з віком в основному за рахунок приросту стовбурової частини. Запаси гілок коливаються в межах 18,38 - 34,10 т·га<sup>-1</sup> і залежать від віку та породного складу деревостану. Маса асимілюючих компонентів (листя, хвоя) змінюється від 10,47 до 16,22 т·га<sup>-1</sup>, а зі збільшенням віку деревостанів спостерігається зменшення її частки по відношенню до загальної фітомаси. Величина кореневої фітомаси є значною - 47,06 - 61,60 т·га<sup>-1</sup>, (14-25 %), а її частка від загальної фітомаси деревостану зменшується зі збільшенням віку деревного ярусу.

#### 4.1.2 Підріст

Фітомаса підросту залежить від параметрів деревного ярусу, зокрема від зімкнутості основних лісоутворювальних порід. Визначено, що запаси фітомаси підросту становлять 0,93 - 4,65 т·га<sup>-1</sup>, частка стовбурів - 40%, крон - 24-29% (в тому числі зелені органи - 6-10%), а на кореневу систему припадає 30-34% (рис.4.4., таб.4.2.).

У 45-ти річному деревостані виявлено найменші запаси підросту – 0,93 т·га<sup>-1</sup>, що зумовлено спільною дією двох факторів: значної кількості деревного дебрису на поверхні ґрунту, що може бути причиною сповільнення проростання та розвитку підросту та частково зімкнутості деревного ярусу (0,6). (додатки рис. 2.а; 2.б ). У 50-ти річному угрупованні запаси підросту є також незначними – 1,15 т·га<sup>-1</sup>, що пов'язано із зімкнутістю деревостану (0,82). Умовно корінний 110-ти річний буково-ялиновий яличник характеризуються низьким ступенем

зімкнутості деревостану (0,55), що сприяє процесам природного поновлення, тому на цій ділянці запас підросту становить – 4,11 т·га<sup>-1</sup>.

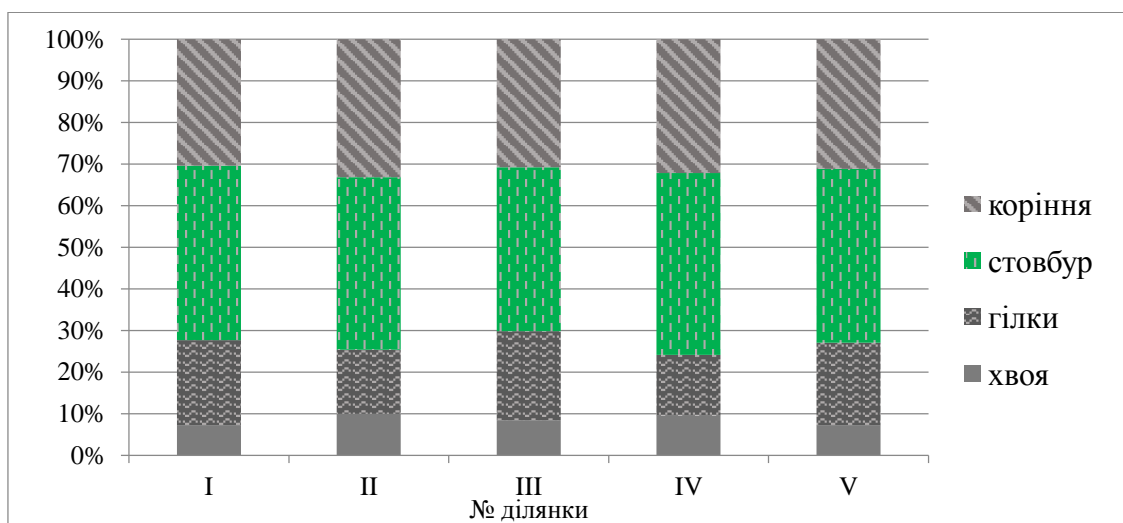


Рис. 4.4 Структура фітомаси підросту в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, (назви ділянок див. рис 4.1).

Найбільшу кількість фітомаси в підрості виявлено у 70-ти річному ялицевому ялиннику – 4,65 т·га<sup>-1</sup>, що зумовлено найменшою зімкнутістю серед досліджуваних екосистем (0,47). Особливістю цього компонента фітомаси в досліджуваних екосистемах є наявність значної маси коріння 0,29 – 1,49 т·га<sup>-1</sup> (рис.4.5), що складає 30-34% від загальної фітомаси підросту. У першому ярусі підросту, висота якого не перевищує 40 см, частка кореневої системи становить понад 40%.

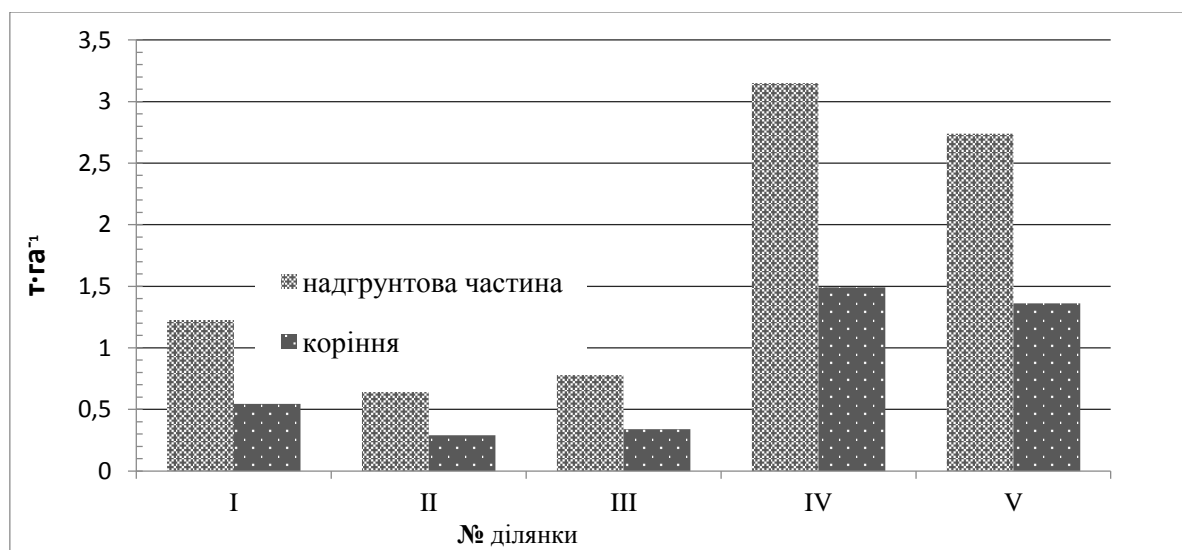


Рис.4.5 Запаси фітомаси підросту в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини т·га<sup>-1</sup> (назви ділянок див. рис 4.1).

Запаси фітомаси підросту в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, т·га<sup>-1</sup>.(2010 р.)

Переважаюча порода, ярус підросту.	крона			стовбур	надземна фітомаса	коріння	всього
	хвоя	гілки	разом				
30-ти річний ялицево-буковий ялинник мертвопокровний							
ялина І	0,02	0,03	0,05	0,01	0,07	0,02	0,09
бук ІІ	0,02	0,05	0,07	0,05	0,12	0,06	0,18
бук ІІІ	0,11	0,30	0,41	0,63	1,04	0,47	1,50
<b>разом</b>	<b>0,15</b>	<b>0,38</b>	<b>0,53</b>	<b>0,70</b>	<b>1,23</b>	<b>0,54</b>	<b>1,77</b>
45-ти річний буковий ялинник папоротево-ожиниовий							
ялина І	0,001	0,002	0,003	0,003	0,006	0,004	0,010
ялина ІІ	0,002	0,003	0,005	0,008	0,013	0,007	0,020
ялина ІІІ	0,06	0,18	0,24	0,38	0,62	0,28	0,90
<b>разом</b>	<b>0,07</b>	<b>0,19</b>	<b>0,25</b>	<b>0,39</b>	<b>0,64</b>	<b>0,29</b>	<b>0,93</b>
50-ти річний буково-дубовий ялинник зеленчуково-ожиниовий							
бук І	0,001	0,002	0,003	0,003	0,006	0,004	0,010
бук ІІ	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,06
бук ІІІ	0,08	0,22	0,29	0,45	0,75	0,33	1,08
<b>разом</b>	<b>0,08</b>	<b>0,23</b>	<b>0,32</b>	<b>0,47</b>	<b>0,79</b>	<b>0,36</b>	<b>1,15</b>
70-ти річний ялицевий-ялинник ожиниовий							
ялина І	0,02	0,03	0,04	0,04	0,09	0,05	0,14
ялина ІІ	0,10	0,15	0,26	0,37	0,63	0,32	0,95
ялина ІІІ	0,32	0,50	0,83	1,62	2,45	1,12	3,56
<b>разом</b>	<b>0,45</b>	<b>0,68</b>	<b>1,13</b>	<b>2,03</b>	<b>3,16</b>	<b>1,49</b>	<b>4,65</b>
110-ти річний буково-ялиновий яличник ожиниово-папортевий							
ялина І	0,12	0,17	0,29	0,27	0,56	0,35	0,92
ялина ІІ	0,04	0,05	0,09	0,12	0,21	0,11	0,32
бук ІІІ	0,26	0,41	0,67	1,31	1,97	0,90	2,87
<b>разом</b>	<b>0,41</b>	<b>0,63</b>	<b>1,04</b>	<b>1,70</b>	<b>2,75</b>	<b>1,36</b>	<b>4,11</b>



Отже загальні запаси фітомаси підросту в досліджуваних екосистемах є достатньо різними і відрізняються в 5 разів. Основними чинниками, які впливають на таку різницю є зімкнутість деревного ярусу та кількість ламані на поверхні ґрунту.

Серед компонентного складу значна частина припадає на листя (хвою) 6-10%, гілки 14-20% та коріння 30-34% , у порівнянні із компонентним співвідношенням деревостанів частка стовбура становить лише 39-42%.

### 4.1.3 Надґрунтовий покрив

Видовий склад і структура трав'яно-чагарничкового ярусу лісових екосистем, є відображенням складних взаємодій між самими рослинами, а також між рослинами та навколишнім середовищем [82; 166]. При порівняно невеликій участі фітомаси деякі види нижніх ярусів можуть відігравати істотну роль у біотичному циклу речовин через велику інтенсивність відмирання і надходження в ґрунт рослинних залишків [2].

Проведені дослідження показали, що склад і структура деревного ярусу досліджуваних екосистем істотно впливають на склад і запас трав'яно-чагарничкового і мохових ярусів. Їх маса у досліджуваних екосистемах становить 0,02-1,99 т·га<sup>-1</sup> з мінімумом у 30-ти річному ялицевому яличнику та максимумом у 70-ти річному ялицевому ялиннику (рис.4.6), що, насамперед, пояснюється найменшою зімкнутістю деревостану в останньому (0,45).

Запаси мохового ярусу у досліджуваних екосистемах є незначними (табл.4.3). Виявлено, що його запаси мають чітку приуроченість до кількості CWD останніх стадій розкладу. Так, у 30-ти річному ялицево - буковому ялиннику, де запаси ламані і пнів є незначними, кількість мохів становить 0,04 т·га<sup>-1</sup>. У 50-ти річному буково-дубовому ялиннику та 70-ти річному ялицевому ялиннику їх запас становить 0,08 т·га<sup>-1</sup>, а в умовно - корінній екосистемі - 0,22 т·га<sup>-1</sup>. Найбільший запас мохового ярусу виявлений у 45-ти річному буковому ялиннику - 0,28 т·га<sup>-1</sup>, де запаси грубих деревних залишків є найбільшими.

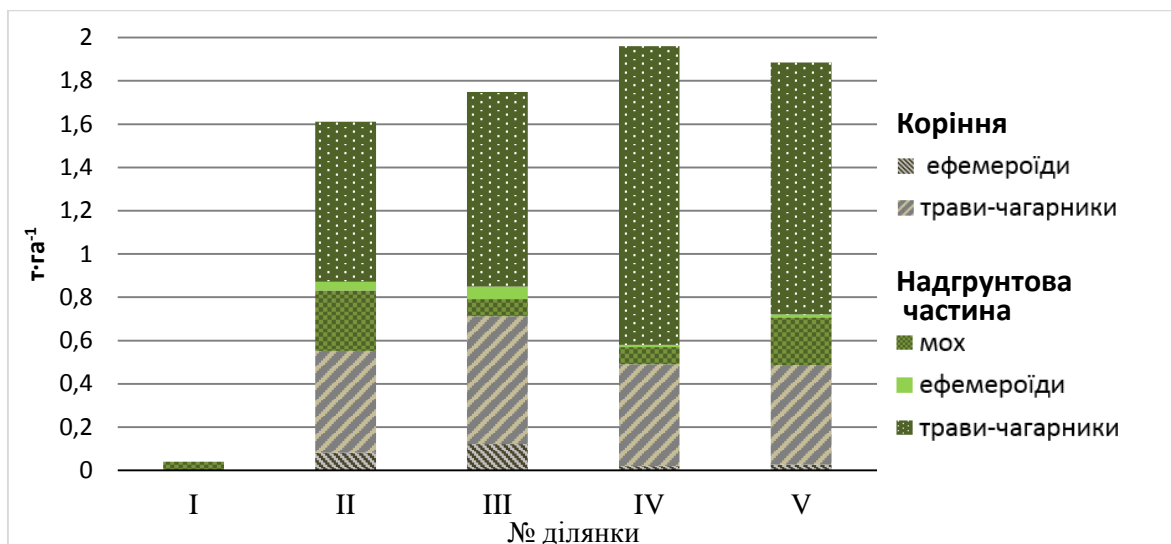


Рис.4.6. Запаси фітомаси в трав'яно-чагарничковому та моховому ярусах в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, т·га<sup>-1</sup> (назви ділянок див. рис 4.1)

Таблиця 4.3

Біомаса живого надґрунтового покриву в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, т·га<sup>-1</sup> (назви ділянок див. рис 4.1)

Рослинні фракції		№ ділянки				
		I	II	III	IV	V
<b>Моховий ярус</b>		0,04±0,01	0,28±0,08	0,08±0,01	0,08±0,02	0,22±0,05
<b>Трав'яно-чагарничковий ярус</b>	<b>Багаторічні рослини, в т.ч.</b>	–	1,2	1,49	1,91	1,63
	надземна частина	–	0,73±0,11	0,9±0,12	1,38±0,21	1,17±0,31
	коріння	–	0,47	0,59	0,52	0,46
	<b>Ефемероїди, в т.ч.</b>	–	0,12	0,18	0,03	0,04
	надземна частина	–	0,04±<0,01	0,06±0,01	0,01±<0,01	0,01±<0,01
	коріння	–	0,08	0,12	0,02	0,03
	<b>Разом</b>	–	1,32	1,67	1,94	1,67
<b>ВСЬОГО</b>		0,04	1,6	1,74	2,02	1,89
НАДЗЕМНА ЧАСТИНА		0,04	1,05	1,04	1,47	1,4
КОРІННЯ		–	0,55	0,71	0,54	0,49

Запас трав'яно-чагарничкового ярусу, основна частина якого припадає на надґрунтову масу в досліджуваних екосистемах змінюється в межах 0 – 1,91 т·га<sup>-1</sup> (рис.4.7). У 50-ти річному буково-дубовому ялиннику та 45-ти річному буковому ялиннику відповідно 61-62%. Значно більша його частка виявлена в умовно корінному 110-ти річному буково-ялиновому яличнику та 70-ти річному ялицевому ялиннику - відповідно 71 і 72%. Це зумовлено домінуванням трав'яних видів рослин з краще розвинутою надґрунтовою частиною.

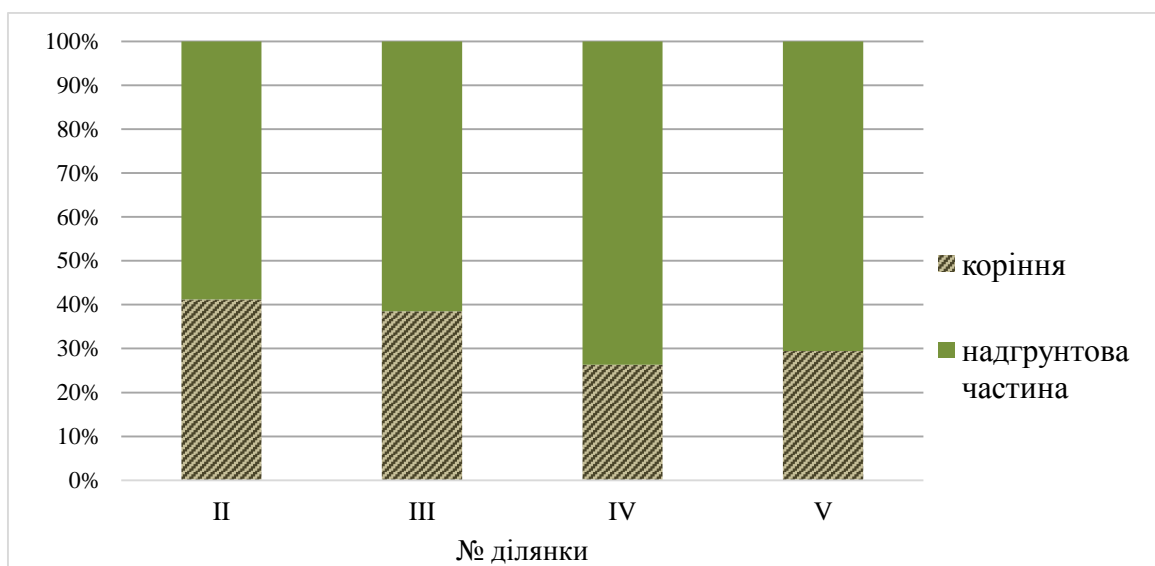


Рис. 4.7. Частка фракцій трав'яно-чагарничкового ярусу в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (назви ділянок див. рис 4.1)

Частка ефемероїдів в надґрунтовому вкритті досліджуваних лісових екосистем є незначною і становить 0-10,4%. Проте їхнє значення посилюється коротким вегетаційним періодом, що сприяє швидкому надходженню свіжого рослинного матеріалу до ґрунтового блоку лісових екосистем, та їх інтенсивним розкладом впродовж 1 - 2 місяців.

Отже, продуктивність нижніх ярусів в досліджуваних лісових екосистемах залежить від зімкнутості деревного ярусу та наявності прогалін. Основний внесок в надґрунтовий покрив вносить трав'яно-чагарничковий ярус - понад 80%. Його найбільші запаси є характерними для ділянок з більшою освітленістю, наявністю вікон. Частка мохів в надземній частині надґрунтового покриву є незначною і становить 0,04 – 0,28 т·га<sup>-1</sup>.

#### 4.1.4. Загальні запаси

Загальні запаси фітомаси і її розподіл за структурними елементами та фракціями є важливою характеристикою продуктивності лісових екосистем. Кількісні оцінки цих параметрів є основою для вивчення складних енергетичних зв'язків і взаємодій між компонентами біогеоценозу та загальної характеристики матеріальних і енергетичних ресурсів тієї чи іншої екосистеми [2].

Аналіз отриманих даних показав, що в межах території за однакових едафо – кліматичних умов запаси фітомаси можуть істотно варіювати.

Встановлено, що досліджувані лісові екосистеми характеризуються різними значеннями накопичення біомаси, а її запаси змінюються в межах 192,74-390,28 т·га<sup>-1</sup> (табл. 4.4), основна частина якої акумульована деревним ярусом до 99% (рис. 4.8).

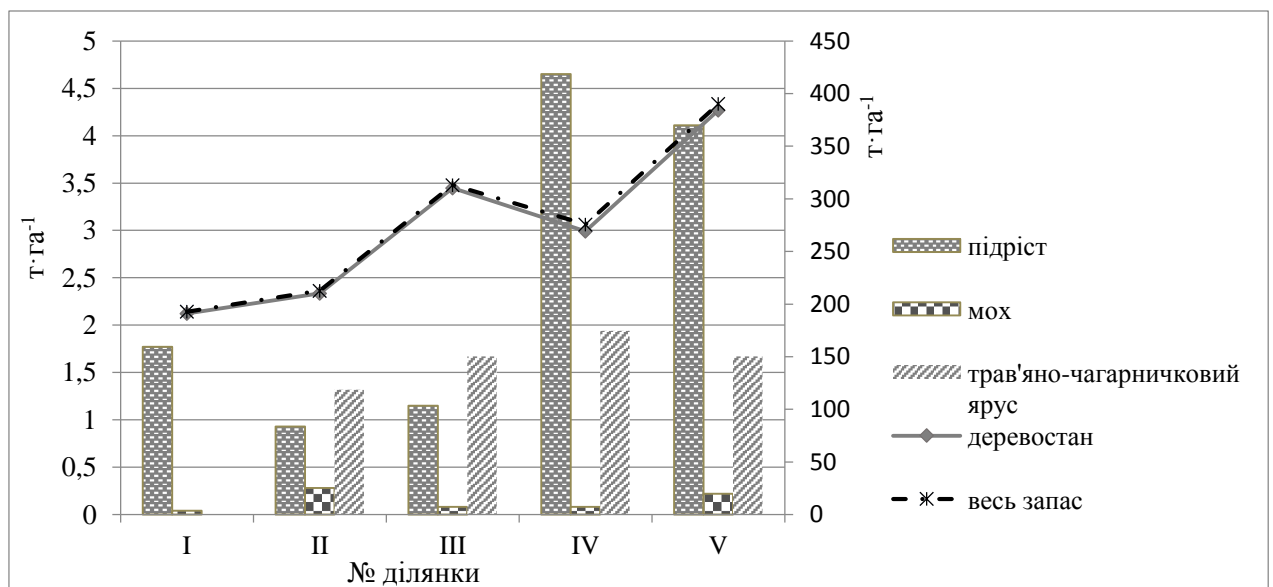


Рис. 4.8 Запаси основних фракцій фітомаси в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, т·га<sup>-1</sup> (назви ділянок див. рис 4.1)

Ліва шкала - підріст, моховий ярус, трав'яно-чагарничковий ярус; права шкала - деревний ярус і загальний запас.

Величина запасів живих гілок змінюється в межах 18,87-34,74 т·га<sup>-1</sup>. Найбільша частка гілок по відношенню до загальної фітомаси виявлена у 30-ти річному угрупованні (10,6%), тоді як найменша - у 70-ти річному (7%).

Запаси і структура біомаси блоку “фітомаса” в досліджуваних екосистемах  
Стрийсько-Сянської Верховини т·га<sup>-1</sup>

Фракція фітомаси	Ялицево-буковий ялинник	Буковий ялинник	Буково-дубовий ялинник	Ялицевий ялинник	Буково-ялиновий яличник
	Вік (роки)				
	30	45	50	70	110
<b>Деревостан, в.т.ч</b>	<b>190,93</b>	<b>210,22</b>	<b>310,2</b>	<b>269,08</b>	<b>384,28</b>
надземна частина	143,89	162,42	248,6	220,46	332,04
стовбур	112,94	132,36	204,86	184,8	282,98
гілки	20,48	18,68	30,3	19,44	34,1
хвоя (листя)	10,47	11,38	13,44	16,22	14,96
підземна частина	47,04	47,8	61,6	48,62	52,24
<b>Підріст, в т.ч.</b>	<b>1,77</b>	<b>0,93</b>	<b>1,15</b>	<b>4,65</b>	<b>4,11</b>
надземна частина	1,23	0,64	0,79	3,16	2,75
стовбур	0,7	0,39	0,47	2,03	1,7
гілки	0,38	0,19	0,23	0,68	0,64
хвоя (листя)	0,15	0,07	0,08	0,45	0,41
підземна частина	0,54	0,29	0,36	1,49	1,36
<b>Моховий ярус</b>	<b>0,04</b>	<b>0,28</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>0,22</b>
<b>Трав'яно-чагарничковий ярус, в т.ч.</b>	—	<b>1,32</b>	<b>1,67</b>	<b>1,94</b>	<b>1,67</b>
надґрунтова частина	—	0,78	0,96	1,39	1,18
підземна частина	—	0,55	0,71	0,54	0,49
Загальна фітомаса					
НАДГРУНТОВА ЧАСТИНА	145,16	164,12	250,43	225,09	336,19
ПІДЗЕМНА ЧАСТИНА	47,58	48,64	62,67	50,65	54,09
<b>ЗАГАЛОМ</b>	<b>192,74</b>	<b>212,75</b>	<b>313,1</b>	<b>275,75</b>	<b>390,28</b>

Закономірність зниження частки гілкової фітомаси з віком є характерною для хвойних угруповань, в екосистемах із збільшенням кількості листяних порід така тенденція змінюється в протилежному напрямку.

Запаси фітомаси нижніх ярусів (підріст, надґрунтовий покрив) в основному визначаються деревним ярусом як чинником, що обмежує і видозмінює потік сонячної радіації, атмосферних опадів і мінеральних речовин в надземній і підземній сферах поширення фітомаси [66;145]. В досліджуваних екосистемах запаси підросту становлять від 0,93 до 4,65 т·га<sup>-1</sup> та трав'яно-чагарничкового ярусу від 0 до 1,94 т·га<sup>-1</sup>, їх величина має пряму залежність від зімкнутості деревостану, лише за винятком 30-ти річного ялицево-букового ялиника, де трав'яно-чагарничковий ярус практично відсутній, внаслідок того, що насадження було створено на колишніх орних землях, разом із потужною підстилкою формуються несприятливі умови для проростання насіння.

Величина запасів мохового ярусу є незначною і змінюються в межах 0,04-0,28 т·га<sup>-1</sup>. Запас цього ярусу має чітку приуроченість до кількості запасів грубих деревних залишків середніх та останніх стадій розкладу.

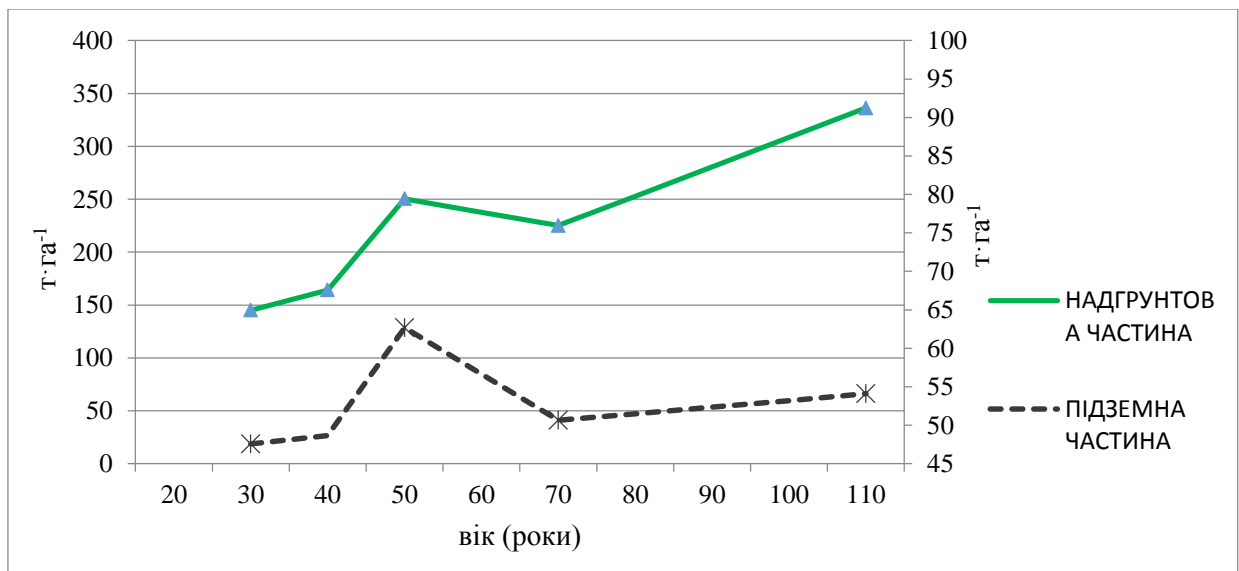


Рис. 4.9. Динаміка змін загальних запасів фітомаси в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини т·га<sup>-1</sup>, (назви ділянок див. рис 4.1)

Ліва шкала – надґрунтова частина; права шкала – підземна частина.

Таким чином, із збільшенням віку мішаних похідних деревостанів від 30-ти до 110-ти років, збільшуються запаси як надземної фітомаси від 145,16 до 336,19 т·га<sup>-1</sup> так і запаси коріння - від 47,58 до 54,09 т·га<sup>-1</sup> (рис.4.9). Винятком у цьому віковому ряді є значні запаси фітомаси в 50-ти річному буково-дубовому ялиннику, де істотний вклад у формування запасів фітомаси вносить дуб червоний, який є інтродуцентом та не трапляється в природних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини.

Загалом, у досліджуваних екосистемах із збільшенням віку деревного ярусу запаси надземної фітомаси збільшуються в 2,3 рази, у той час як підземної - лише в 1,1 рази. Така закономірність є характерною властивістю мішаних лісів різних регіонів [153;265] та для ялинових лісів Українських Карпат зокрема, де надземна та підземна фітомаса деревостанів з 35 до 100 років, збільшується відповідно в 3,3 і 2,2 рази. [48].

\*\*\*

Загальні запаси живої надземної та підземної фракцій фітомаси похідних екосистем Стрийсько-Сянської Верховини становлять 210,2 - 384,3 т·га<sup>-1</sup>. Основна частина фітомаси формується деревним ярусом - 97-99%, з якого на стовбури припадає 59-74%. Запаси асимілюючих органів становлять 10,47 - 16,22 т·га<sup>-1</sup>, а із збільшенням віку деревостану їх частка зменшується від 6 до 3%. Запаси фітомаси нижніх ярусів характеризуються значною варіабельністю, оскільки залежать від зімкнутості деревного ярусу та наявності “вікон” у деревостані. Фітомаса підросту становить 0,93-4,65 т·га<sup>-1</sup>, трав'яно-чагарничкового ярусу – 0-1,94 т·га<sup>-1</sup>, у той час, як мохового ярусу 0,04-0,28 т·га<sup>-1</sup>. Аналіз отриманих даних дозволив встановити, що на території Стрийсько-Сянської Верховини в однакових едафо-кліматичних умовах запаси живої фітомаси автотрофного блоку лісових екосистем істотно відрізняються та залежать від породного складу та віку деревостану, тобто детерміновані веденням лісового господарства, зокрема формуванням похідних насаджень із залученням високопродуктивних інтродуцентів.

## 4.2 Запас фітодетриту

Фітодетрит вивчали в складі трьох основних компонентів: грубі деревні залишки (CWD), підстилка, коренева мортмаса. Вони є лабільною фракцією органічної речовини ґрунту і відіграють важливу роль у формуванні потоків вуглецю в системі “ґрунт-рослинність-атмосфера”.

Розрахунку маси деревних залишків передувала оцінка щільності мертвої деревини. Відомо, що вона змінюється в залежності від того, на скільки сильно відбувся процес розкладу мертвого органічного матеріалу [147; 198].

За даними деяких авторів, щільність мертвої деревини хвойних порід знижується від стадії до стадії на 19-68% відносно щільності живої деревини [250; 259].

На основі експериментального матеріалу, отриманого для різних лісоутворюючих порід Сибіру, виявлено, що щільність деревини збільшується на початкових етапах біодеструкції, надалі зменшується на 7-22% від об'ємної маси живої деревини [72]. Схожа тенденція зміни щільності мертвої деревини виявлена і у наших дослідженнях (табл. 4.5). На початкових етапах розкладу щільність деревини ламані на 14 - 20% перевищує деревину живих дерев. На думку С. І. Ваніна [23], ймовірною причиною цього явища може бути нагромадження в деревині продуктів життєдіяльності грибів. На підтвердження автор наводить результати дослідження I. Lindorth [23], згідно з якими щільність деревини у берези, зараженої грибом *Fomesnigricans*, в абсолютно сухому стані становить  $900 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ , тоді як щільність здорової деревини дорівнює  $770 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ . Після екстракції фарбувальних речовин щільність зразків зменшилась і зрівнювалась з показниками здорової деревини. Крім того, щільність мертвої деревини може істотно збільшитися в результаті хімічних змін в клітинних стінках внаслідок впливу екзоферментних систем мікро і макроміцетів [24]. Подальший розвиток процесів розкладу обумовлює зниження щільності деревини ламані на 16 - 27% від щільності деревини живих дерев і на 18-33% від щільності ламані першої стадії (табл. 4.5).



Показники щільності деревини в досліджуваних лісових екосистемах  
Стрийсько-Сянської Верховини

Ступінь розкладу	Середнє значення і похибка середнього кг·м <sup>3</sup>	Коефіцієнт варіації
30-ти річний ялицево-буковий ялинник мертвопокровний		
Деревина живого дерева	429±14,8	2,8
I	487±21,3	3,5
II	345±17,0	3,9
III	312±21,5	5,5
IV	210±23,8	9,1
45-ти річний буковий ялинник папоротево-ожиновий		
Деревина живого дерева	499±20,0	3,2
I	512±13,0	2,0
II	395±13,4	2,7
III	301±19,0	5,0
IV	187±22,4	9,6
50-ти річний буково-дубовий ялинник зеленчуково-ожиновий		
Деревина живого дерева	439±11,7	2,1
I	501±18,6	3,0
II	412±17,5	3,4
III	320±23,9	6,0
IV	201±17,4	6,9
70-ти річний ялицевий-ялинник ожиновий		
Деревина живого дерева	430±9,9	1,8
I	468±16,7	2,8
II	312±41,8	10,7
III	295±36,5	9,9
IV	192±28,1	11,7
110-ти річний буково-ялиновий яличник ожиново-папоротевий		
Деревина живого дерева	439±7,4	1,3
I	453±23,3	4,1
II	322±17,0	4,2
III	299±23,6	6,3
IV	178±18,6	8,3

Показники щільності ламані на третій стадії розкладу становлять 295 - 320 кг·м<sup>-3</sup>, що на 27 - 40% менше щільності стовбурової деревини, четвертої -178 – 210 кг·м<sup>-3</sup>, що на 51-62% менше від щільності стовбурової деревини живого

дерева. Загалом, щільність живої деревини хвойних порід на досліджуваних ділянках варіює в межах 429 – 499 кг·м<sup>-3</sup>, що узгоджується з даними інших авторів [250;259].

Загалом, між усіма типами досліджуваних екосистем щільність ламані по класах розкладу суттєво не відрізняється від середньої і не залежить від місцезнаходження об'єктів, тому весь масив експериментальних даних можна об'єднати (табл.4.6).

Таблиця 4.6

Середні показники щільності деревини в досліджуваних екосистемах  
Стрийсько-Сянської Верховини

Ступінь розкладу	Середнє значення і похибка середнього кг·м <sup>-3</sup>	Коефіцієнт варіації
Деревина живого дерева	447,2±13,3	6,4
I	484,2±12,1	5,3
II	357,2±20,5	12,3
III	305,4±9,7	6,8
IV	193,6±9,3	10,3

Щільність деревини ламані змінюється в межах 447 - 193 кг·м<sup>-3</sup>. На початкових стадіях щільність деревини збільшується на 8%, із збільшенням розкладу поступово знижується. Щільність деревини четвертого класу розкладу на 57% нижча від щільності деревини живого дерева. Близькі величини отримані К.С. Бобковою та А.І. Патовою в ялинових лісах Середньої тайги, де щільність ламані зменшується від 400 до 260 кг·м<sup>-3</sup>. За даними О.В. Трефилової [176] щільність CWD сосняків Середньої тайги зменшується від 527 до 260 кг·м<sup>-3</sup> (за трьома класами).

#### 4.2.1 Грубі деревні залишки

Запаси грубих деревних залишків в лісовому біогеоценозі формуються в результаті процесів відмирання та відпаду здерев'янілих частин або дерева

загалом та їхньої трансформації. Їхня маса і структура залежать від стадії розвитку фітоценозу, походження та інтенсивності факторів (природні або антропогенні), що порушують природний процес розвитку деревостану, умов деструкції деревини і присутності так званих “успадкованих” грубих деревних залишків в структурі лабільного органічної речовини ґрунтів [233; 277].

Запаси дебрису в букових лісах Бескид (Українські Карпати) змінюються в межах 3,7-10,5 т·га<sup>-1</sup> [12]. В ялинових лісах Українських Карпат його величина становить від 7,5 до 27,2 т·га<sup>-1</sup> [48].

В досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини в залежності від екосистеми запаси CWD варіюють в межах 7,65 - 46,99 т·га<sup>-1</sup> (табл.4.7).

У 30-ти річному ялицево-буковому ялиннику запас дебрису становить 15,69 т·га<sup>-1</sup>. Основна його частина припадає на сухостій - 14,78 т·га<sup>-1</sup> 95% (табл. 4.7, рис. 4.10). Запас ламані дорівнює 0,84 т·га<sup>-1</sup>, він представлений в основному першим та другим класом розкладу (понад 93%) із середнім діаметром 15 см. У молодих деревостанах запас детриту пнів і гілок ще не сформувався і тому є незначним (0,03 -0,04т·га<sup>-1</sup>).

У 45-ти річному буковому ялиннику маса CWD сконцентрована в основному в ламані та сухостої - відповідно 27,49 та 17,28 т·га<sup>-1</sup>, що становить 98% від усього запасу. Такі значні запаси ламані зумовлені домінуванням ялини, яка у поясі букових лісів при мезотрофних вологих умовах формує поверхневу кореневу систему, що зменшує стійкість до вітровалів [47]. Запас ламані в переважній більшості формується за рахунок свіжого відпаду основного деревостану (d 15-30 см), де у першому та другому класі розкладу сконцентровано відповідно 4,04 та 23,18 т·га<sup>-1</sup>.

Запас пнів становить 0,64 т·га<sup>-1</sup> (97% II,III клас), збільшення частки цих класів пов'язано із швидшими процесами біотрансформації деревного матеріалу цього компонента фітодетриту. Запаси великих гілок становлять 1,58 т·га<sup>-1</sup>.

Запаси і компонентний склад дебрису (CWD) в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини т·га<sup>-1</sup>

Компоненти	Ялицево-буковий ялинник	Буковий ялинник	Буково-дубовий ялинник	Ялицевий ялинник	Буково-ялиновий яличник	
	Вік (роки)					
	30	45	50	70	110	
великі гілки (1-7 см)	<b>0,04</b>	<b>1,58</b>	<b>0,65</b>	<b>0,75</b>	<b>0,82</b>	
сухостій	<b>14,776</b>	<b>17,28</b>	<b>3,802</b>	<b>4,8</b>	<b>5,856</b>	
ламань	I	0,24±0,08	4,04±0,52	1,74±0,25	0,03±0,01	0,33±0,13
	II	0,55±0,12	23,18±4,95	0,73±0,34	13,48±3,99	8,05±2,98
	III	0,04±0,01	0,24±0,04	0,16±0,09	0,02±0,01	8,46±3,75
	IV	0,01±<0,01	0,03±<0,01	0,25±0,11	0,03±0,01	1,22±0,73
	разом	<b>0,84</b>	<b>27,49</b>	<b>2,88</b>	<b>13,56</b>	<b>18,06</b>
пні	I	-	-	-	-	0,20±0,09
	II	0,01±<0,01	0,21±0,06	0,02±0,01	0,61±0,21	0,41±0,12
	III	0,02±<0,01	0,41±0,07	0,3±0,01	0,70±0,33	0,55±0,28
	IV	-	0,02±<0,01	-	0,41±0,23	0,14±0,08
	разом	<b>0,03</b>	<b>0,64</b>	<b>0,32</b>	<b>1,71</b>	<b>1,29</b>
<b>всього</b>	<b>15,69</b>	<b>46,99</b>	<b>7,652</b>	<b>20,82</b>	<b>26,03</b>	

\* I-IV-стадії розкладу CWD

Значні запаси сухою ялини в 30-ти річному ялицево-буковому ялиннику мертвопокривному та сухою і ламані у 45-ти річному буковому ялиннику папоротево-ожиновому зумовлені значною вразливістю до захворювань штучних ялинових деревостанів у межах букового поясу, а особливо на території Стрийсько-Сянської Верховини [12].

Запаси CWD в буково-дубовому ялиннику є незначними – 7,65т·га<sup>-1</sup>, на частку сухою припадає 53%, на ламань і пні відповідно 39 та 8 %. Основна частина запасу ламані припадає на I клас розпаду - 1,74 т·га<sup>-1</sup>, це в основному стовбури діаметром 10-15 см, II клас (0,73 т·га<sup>-1</sup>) представлений стовбурами діаметром 15-25 см. Запаси III і IV класу є незначними: відповідно 0,16 - 0,25 т·га<sup>-1</sup> і

представлені стовбурами діаметром від 10 до 30 см. Запаси пнів як і у 30-ти річному угрупованні є незначними  $0,032 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  і основна частина (94%) припадає на III клас розкладу. Пні першого і четвертого класів не були виявлені.

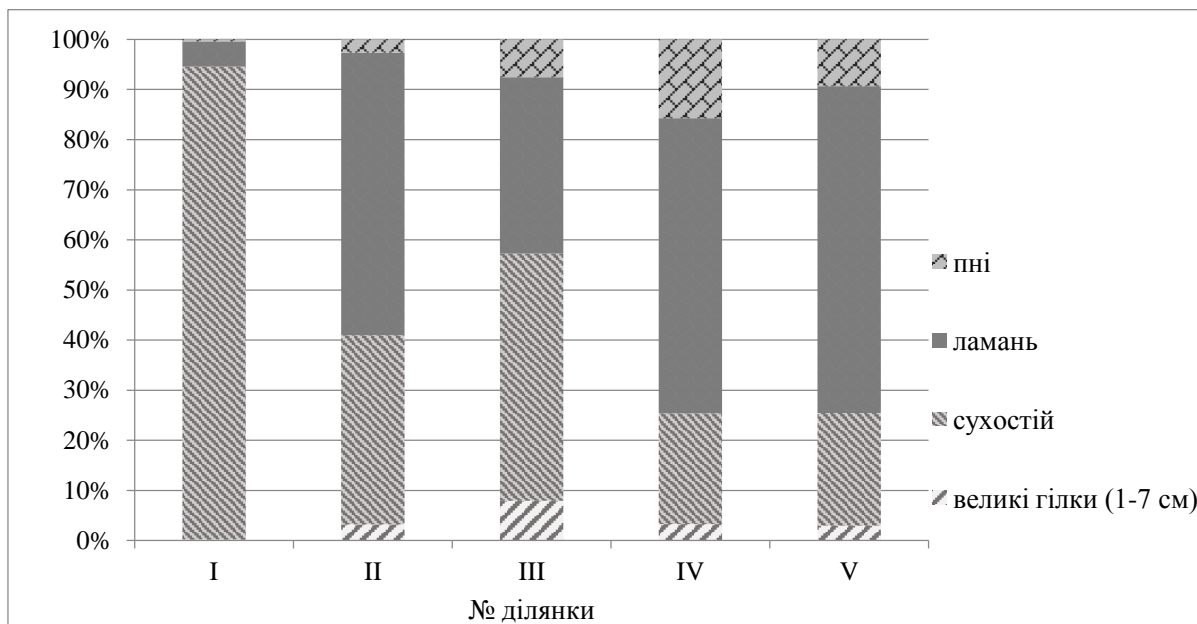


Рис. 4.10 Структура пулу дебрису в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, (назви ділянок див. рис. 4.1)

Формування другого ярусу під пологом деревостанів, розвиток підліску і підросту в “вікнах” ускладнює структуру CWD. В міру старіння і ускладнення вікової структури в хвойних лісових екосистемах діаметри дерев відпаду поступово наближаються до середніх таксаційних показників деревостану, а в перестійних лісах можуть їх перевищувати [37].

Кількість CWD у 70-ти річному ялицевому ялиннику становить  $20,82 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  структура якого складається із ламані (59%), сухостою (22%), пнів (16%) та гілок (3%). Запаси свіжих та останніх стадій розкладу ламані є незначними - відповідно  $0,03$ ;  $0,08 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ . У порівнянні із молодшими угрупованнями тут спостерігається збільшення запасів ламані третьої стадії розкладу-  $5,23 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ . Для пнів характерним є рівномірний розподіл мертвої деревини за стадіями розкладу -  $0,61$ ;  $0,7$  та  $0,4$  відповідно для II, III і IV стадій, свіжих (перша стадія розкладу) пнів для цієї лісової екосистеми не виявлено.

У 110-ти річному буково-ялиновому яличнику акумульовано  $30,03 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  CWD. Розподіл за компонентами є наближеним до 70-ти річного угруповання: ламань - 65, сухостій - 22, пні - 10 і гілки 3%. На першу та четверту стадії ламані

припадає відповідно 0,33 і 1,22 т·га<sup>-1</sup>. Запас другої і третьої стадій розкладу цього компоненту розподілений рівномірно й їх частина становить понад 91% від загальних запасів в екосистемі. Мортмаса пнів виявлена в усіх класах розкладу – 0,2; 0,4; 0,55 та 0,14 т·га<sup>-1</sup>. Середній діаметр пнів і ламані у 70-ти і 110-ти річних угрупованнях наближений до середніх таксаційних показників досліджуваних деревостанів, (додатки, таблиця 5)

Отже, у досліджуваних екосистемах запаси мертвої деревини змінюються в межах 7,65 – 46,99 т·га<sup>-1</sup>, основна маса CWD припадає на ламань і сухостій (99,3-81%).

Щільність деревини першої стадії розкладу на 5% більша від деревини живого дерева. Встановлено зменшення щільності мертвої деревини із збільшенням стадій розкладу.

Виявлено, що при найбільших запасах ламані у 45-ти річному буковому ялиннику запаси пнів є менші, ніж у 70- і 110-ти річних угрупованнях, це зумовлене особливостями формування ламані (вивал дерев з частиною скелетного коріння). Основна частина ламані та пнів припадає на другий і третій клас розкладу (31-91%). Проте, відносне значення запасів пнів останньої стадії розкладу від ламані є вищим на 11,4% і становить 14%. Виявлена тісна кореляція між запасами гілок діаметром 1-7 см і ламанню ( $r = 0,91$ ), а між гілками і сухостоем така кореляція є слабкою ( $r = 0,22$ ).

#### **4.2.2. Підстилка**

У лісовій екосистемі в результаті складної взаємодії живої і неживої матерії утворюється особливий горизонт ґрунтового профілю - лісова підстилка. Відмирання рослинних органів (опад, відпад) і їх інтенсивна деструкція обумовлюють формування періодично оновлюваної органічної речовини, що володіє відносно постійною величиною [18].

Кількість підстилки в лісових екосистемах змінюється в широких межах. Так, в бореальних лісах запаси підстилки становлять від 15 до 78 т·га<sup>-1</sup> [11], у хвойних лісах Євразії – 10-70 т·га<sup>-1</sup> [153]. В Українських Карпатах у поясі ялинових лісів запаси підстилки становлять 10-30 т·га<sup>-1</sup>, в окремих угрупованнях сягаючи 50

т·га<sup>-1</sup> і більше [201]. В букових лісах Бескид Українських Карпат її маса накопичується від 9,4 до 18,3 т·га<sup>-1</sup>.

За абсолютними величинами запаси підстилки у досліджених екосистемах Стрийсько Сянської Верховини знаходяться в межах 10-25 т·га<sup>-1</sup>, (табл. 4.8) що відповідає встановленим результатам згаданих авторів. Частка хвої та листя становить 42-62 %, дрібних гілок -18-36% і 5-10% - насіння, шишки та 8-15% розкладених решток від загальної маси підстилки. Запаси підстилки є найбільшими в 45, 50, 70-ти річних угрупованнях і найменшими в 30-ти та 110-ти річних, очевидно, це пов'язано з віком і структурою лісостанів, який у першому випадку, близький до віку найвищої продуктивності.

У 110 ти річному буково-ялиновому яличнику виявлено найменший запас підстилки - 10,37 т·га<sup>-1</sup>. В її компонентному складі основна частина припадає на гілки та шишки, на листя і хвою припадає лише 42 %. Незначне надходження протягом року деревного опаду (табл. 6.5) та слабка зімкнутість деревостану (0,55) приводить до інтенсифікації процесів деструкції підстилки за рахунок більшого, порівняно із зімкнутими деревостанами, надходження сонячної енергії і як результат вищих температур її поверхні, все це зумовлює формування малопотужної підстилки і як наслідок, малих її запасів.

Дещо більші величини запасу підстилки виявлені у 30-ти річному ялицево-буковому ялиннику - 14,9 т·га<sup>-1</sup>. Це, насамперед, зумовлене збільшенням, у порівнянні із умовно корінною екосистемою, запасів хвої (на 40%), що спричинено дефоліацією сухостійних ялин та більшою зімкнутістю деревного ярусу.

Схожі процеси виявлені у 45-ти річному буковому ялиннику. Проте тут запас хвої більший в 1,9 рази і становить 10,34 т·га<sup>-1</sup>. Таке зростання зумовлене збільшенням кількості та запасів сухостійних хвойних деревостанів та ламані на ранніх стадіях розкладу, що сприяє формуванню більших запасів підстилки - 18,86 т·га<sup>-1</sup>.

Запаси та фракційний склад підстилок в досліджуваних лісових екосистемах

Стрийсько-Сянської Верховини т·га<sup>-1</sup> (n=25)

Статистичні показники	Гілки	Хвоя	Листя	Шишки	Розкладені рештки	Загалом
<b>30-ти річний ялицево-буковий ялинник мертвопокривний</b>						
М	3,76	5,54	2,30	1,41	1,89	14,90
% від запасу	25,23	37,21	15,44	9,43	12,69	100,00
мін-мах	3,02-4,5	4,45-7,23	1,65-2,74	0,06-2,73	1,45-3,15	10,27-13,61
CV%	18,76	23,01	20,06	80,43	73,65	26,55
<b>45-ти річний буковий ялинник папоротево-ожиновий</b>						
М	3,43	10,34	0,97	1,50	2,62	18,86
% від запасу	18,20	54,80	5,16	7,97	13,87	100,00
мін-мах	3,25-3,56	9,15-11,93	0,38-1,67	0,83-2,12	1,39-3,25	16,29-21,2
CV%	4,74	13,87	66,90	43,03	40,61	13,06
<b>50-ти річний буково-дубовий ялинник зеленчуково-ожиновий</b>						
М	3,92	8,18	3,09	2,57	2,60	20,36
% від запасу	19,24	40,19	15,18	12,60	12,78	100,00
мін-мах	3,49-4,84	4,23-11,5	1,41-4,31	2,21-3,08	1,45-3,15	12,95-24,82
CV%	16,24	39,61	39,27	14,77	30,36	25,42
<b>70-ти річний ялицевий-ялинник ожиновий</b>						
М	3,18	12,45	0,24	1,38	3,33	20,58
% від запасу	15,46	60,50	1,15	6,70	16,20	100,00
мін-мах	2,41-4,48	9,54-18,14	0,12-0,43	0,23-2,4	2,26-4,77	15,59-28,33
CV%	28,35	32,15	56,74	72,03	31,61	29,95
<b>110-ти річний буково-ялиновий яличник ожиново-папортевий</b>						
М	3,78	3,34	1,00	1,58	0,68	10,37
% від запасу	36,41	32,24	9,60	15,24	6,51	100,00
мін-мах	1,64-8,62	2,24-4,52	0,44-1,27	1,24-2,12	0,13-1,08	8,25-16,07
CV%	86,30	28,37	38,00	25,63	59,81	36,71



В екосистемі 50-ти річного буково-дубового ялиника запас підстилки становить  $20,36 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ , частка фракцій якої достатньо рівномірно розподілена із найбільшим вмістом хвої (40%). Значна зімкнутість деревостану та входження до компонентного складу підстилки, листя дуба сповільнює процеси деструкції. Поряд із значною кількістю надходження деревного опаду, формується потужний запас підстилки.

Найбільші запаси підстилки виявлені у екосистемі 70-ти річного ялицевого ялиника -  $20,58 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ . Причинами цього, очевидно, є два основних фактори: майже суцільний трав'яно-чагарничковий покрив і велика кількість підросту, що суттєво ускладнюють прогрівання підстилки і сповільнюють процеси деструкції. Підріст є додатковим джерелом в надходження опаду на її поверхню протягом року, зокрема хвої, частка якої становить понад 60%.

\*\*\*

Встановлено, що запаси підстилки в досліджуваних екосистемах залежать від впливу різних факторів, зокрема виявлено залежність маси підстилки від запасів сухостійних дерев та ламані ранніх стадій розкладу. Також встановлено, що запаси підстилки змінюються пропорційно до кількості річного опаду (табл. 6.6), тобто кількість останнього корелює із запасами підстилки. Закономірно, що найменша кількість річного опаду і запасів підстилки, з огляду на вік деревостану, виявилася у найменш продуктивній умовно корінній екосистемі 110-ти річного буково-ялинового яличника.

### **4.2.3 Кореневий детрит**

Співвідношення процесів “приріст – відмирання – розклад коріння” призводить до формування пулу підземного (кореневого) детриту [33].

У ґрунті досліджуваних екосистем маса кореневого детриту становить  $3,12 - 12,92 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$  з максимумом у 70-ти річному ялицевому-ялинику (табл. 4.9). Основна його частина представлена фракцією “інший” кореневий детрит -  $1,67 - 8,12 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ , (54 - 73%), що складається з коріння важко ідентифікованих рослинних залишків різного походження (трав'яно-чагарничковий ярус, підріст,

підлісок, деревостан ) та ступеня розкладу, в тому числі сильно розкладених залишків коріння та кори.

У 30-ти річному ялицево-буковому ялиннику маса кореневого детриту становить 3,12 т·га<sup>-1</sup>, запаси “іншого” кореневого детриту є найменшими у порівнянні із іншими досліджуваними екосистемами і становлять 1,67 т·га<sup>-1</sup>, що відповідає 53,5% від загального запасу кореневого детриту. Очевидно це спричинено відсутністю живого надґрунтового покриву, як джерела надходження відпаду коріння. Запас коріння сухостою і пнів в досліджуваній екосистемі становить відповідно 0,92; 0,53 т·га<sup>-1</sup>

Таблиця 4.9

Структура запасів кореневого детриту в досліджуваних екосистемах  
Стрийсько-Сянської Верховини т·га<sup>-1</sup>

Фракції ґрунтового фітодетриту	*№ ділянки				
	I	II	III	IV	V
Коріння сухостою	0,92	1,08	0,24	0,3	0,37
Коріння пнів	0,53	1,54	0,97	4,5	3,02
Інший кореневий детрит	1,67±0,38	4,15±0,79	3,11±0,92	8,12±3,52	4,49±2,57
<b>разом</b>	<b>3,12</b>	<b>6,77</b>	<b>4,32</b>	<b>12,92</b>	<b>7,88</b>

\*назви ділянок див. рис 4.1

В екосистемах 45-ти річного букового ялинника і 50-ти річного буково - дубового ялинника запаси кореневого детриту збільшуються відповідно в 2,2 – 1,4 рази. Збільшення мортмаси спричинене в основному завдяки внеску коріння пнів і трав'яно-чагарничкового ярусу, який входить до фракції “інший” кореневий детрит, їхні запаси для 45 ти річного біоценозу становлять відповідно 1,54 і 4,15; для 50-ти річного – 0,97 і 3,11 т·га<sup>-1</sup>.

Найбільші значення запасів виявлені у 70-ти і 110-ти річних угрупованнях відповідно 12,92; 7,88 т·га<sup>-1</sup>. Основна частка припадає на коріння пнів і “інший” кореневий детрит для 70-ти річного угруповання – відповідно 35 і 63%, для 110-ти річного 38 і 57%. Значні запаси для компоненту “інший” кореневий детрит зумовлені добре розвинутим трав'яно-чагарничковим ярусом та підростом, які в

процесі росту і розвитку поповнюють запаси кореневої мортмаси, а кореневого детриту пнів - через наявність великої кількості пнів, що сформувались в основному після вибіркових санітарних рубок.

#### 4.2.4 Загальні запаси

Органічна речовина фітодетриту (лабільна органічна речовина) є одним з основних резервуарів депонованого в лісових екосистемах вуглецю. У досліджуваних екосистемах маса фітодетриту становить 32,33 - 72,62 т·га<sup>-1</sup> (табл. 4.10). Співвідношення компонентів в його складі має вигляд: CWD > підстилка > кореневий детрит. У загальній масі фітодетриту переважає його акумуляція на поверхні ґрунту (рис.4.11)

Таблиця 4.10

Структура запасів лабільної органічної речовини в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини т·га<sup>-1</sup>/%

Ділянка	Дебрис (CWD)	Підстилка	Кореневий детрит	Разом
30-ти річний ялицево-буковий-ялинник	<u>15,69</u> 47	<u>14,90</u> 44	<u>3,12</u> 9	<u>33,71</u> 100
45-ти річний буковий ялинник	<u>46,99</u> 65	<u>18,86</u> 26	<u>6,77</u> 9	<u>72,62</u> 100
50-ти річний буково-дубовий ялинник	<u>7,65</u> 24	<u>20,36</u> 63	<u>4,32</u> 13	<u>32,33</u> 100
70-ти річний ялицевий ялинник	<u>20,82</u> 38	<u>20,58</u> 38	<u>12,92</u> 24	<u>54,32</u> 100
110-ти річний буково-ялиновий яличник	<u>26,03</u> 59	<u>10,37</u> 23	<u>7,88</u> 18	<u>44,28</u> 100

Відмінності в складі і запасі фітодетриту детерміновані передусім масою органічної речовини, акумульованої в дебрисі, де на його частку припадає 24-65%. Основною причиною таких значних запасів є всихання ялини, та її низька

стійкість до вітровалів. У досліджуваних екосистемах не виявлено залежності запасів мортмаси від віку деревостанів.

Найбільший запас фітодетриту виявлений у 45-ти річному буковому ялиннику -  $72,62 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ , де надґрунтова частина становить 91 %, яка на 70% формується із дебрису ( $46,99 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ ). У 30-ти та 50-ти річних угрупованнях величина акумульованого фітодетриту є найменшою: відповідно  $33,71$  і  $32,33 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ . Це зумовлено в основному незначними запасами CWD в досліджуваних екосистемах, так у 30-ти річному ялицево-буковому ялиннику його величина відповідає 47% від загальних запасів в екосистемі, а в 50-ти річному буково-дубовому ялиннику лише 38%.

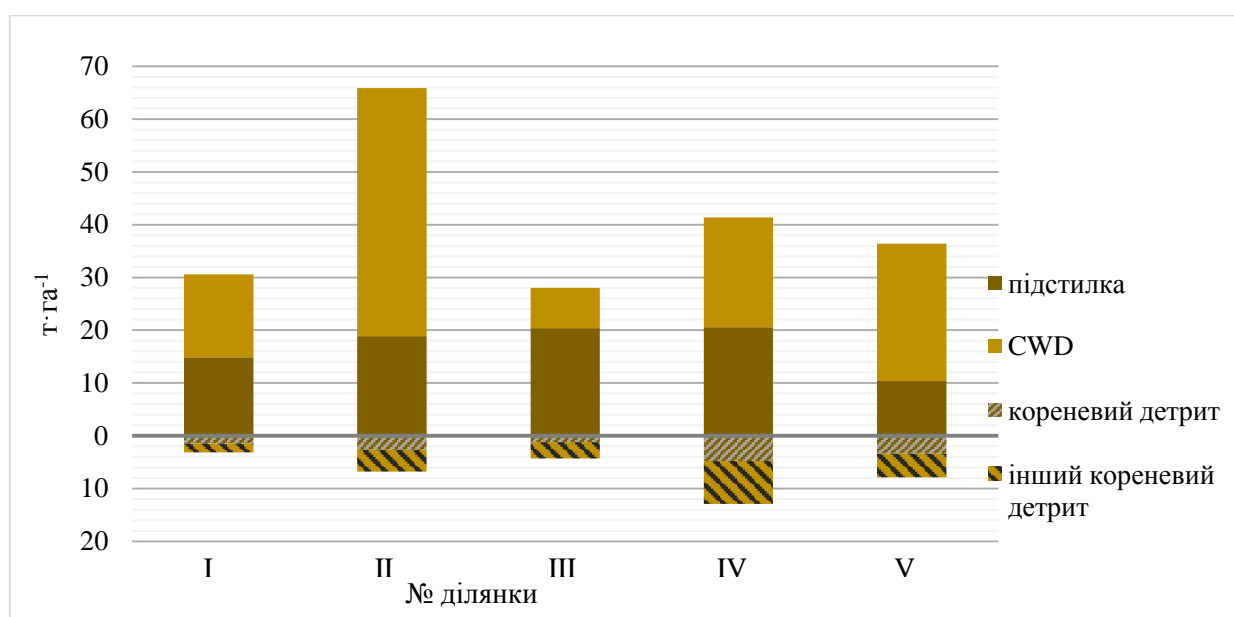


Рис. 4.11 Запас компонентів фітодетриту в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини  $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$  (назви ділянок див. рис 4.1)

У 70-ти річному ялицево-ялиннику його загальний запас становить  $54,32 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ . Запас кореневого детриту тут є найбільшим -  $12,92 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ , що становить 24 % від загальних запасів. Фітодетрит надґрунтового покриву рівномірно розподілений у дебрисі  $20,82 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$  (38%) і підстилці  $20,58$  (38%). Для 110-ти річного буково-ялинового яличника запас мортмаси становить  $44,28 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ . У надґрунтовій частині зосереджено 82%. Частка, що припадає на дебрис становить 59%, запаси підстилки тут є найменшими -  $10,37 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$  (23%).

\*\*\*

Різниця в запасах фітодетриту в основному спричинена породним складом деревостанів, а саме наявністю ялини, яка на території Стрийсько-Сянської Верховини є найменш стійкою до захворювань, вітровалів, що сприяє збільшенню запасів фітодетриту в досліджуваних екосистемах.

## РОЗДІЛ 5. ЗАПАСИ ОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ В ОСНОВНИХ БЛОКАХ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ СТРИЙСЬКО-СЯНСЬКОЇ ВЕРХОВИНИ

Резервуари вуглецю, які в найбільшій мірі впливають на природні потоки  $\text{CO}_2$  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 [110]. Біосферна роль лісових екосистем полягає у стабілізації рівня атмосферного  $\text{CO}_2$  для розуміння її ефективності функціонування в вуглецевому балансі необхідним є кількісна та якісна оцінка запасів вуглецю, що акумулюється у фітомасі, фітодетриті, та органічній речовині ґрунту.

Незважаючи на збільшення досліджень та наукових публікацій, спрямованих на вивчення параметрів вуглецевого циклу в лісових екосистемах, наразі недостатньо фактичних даних щодо запасів вуглецю, акумульованого в піднаметовому ярусі, коріннях деревних і трав'яних угрупованнях, в стовбуровому фітодетриті, органічній речовині ґрунту.

### **Вміст вуглецю 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. Такі коефіцієнти використані у публікаціях [68;70;92;190]. Керуючись експериментальними даними Н.Н Кошуриркової [107], вміст вуглецю для кореневого детриту був прийнятий на рівні 41% від загальної фітомаси. У роботах більшості дослідників зауважується, що вміст вуглецю на різних стадіях розкладу деревного детриту слабо відрізняється і відповідає інтервалу 47 – 52% [224 ;240; 244; 251; 252; 253; 263]. Концентрацію С в цьому компоненті фітодетриту, було прийнято на рівні 50% від загальної маси.

## 5.1 Блок “фітомаса”

Отже, в результаті перерахунків запасів фітомаси (з використанням відповідних коефіцієнтів) отримуємо запас вуглецю в фітомасі (табл. 5.1)

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

Пул вуглецю в фітомасі досліджуваних лісових екосистем змінюється з віком з 95,84 до 194,37 т·С·га<sup>-1</sup>. Основна маса 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<sup>-1</sup>. 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 % [12] і для ялинових деревостанів віком від 35 до 100 років частка стовбуру від загальних запасів деревного ярусу збільшується з 47,4 до 64,6 % [48].

Запас С в підрості змінюється в межах 0,47 – 2,30 т·С·га<sup>-1</sup>, 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 [145]. Найбільші запаси вуглецю підросту виявлені в 70 – ти річному ялицевому ялиннику і 110-ти річному ялиновому яличнику відповідно 2,30; 2,03 т·С·га<sup>-1</sup>, що значною мірою обумовлено зімкнутістю деревного ярусу.

Кількість вуглецю накопиченого в надґрунтовому покриві (трав'яно-чагарничковий ярус - моховий ярус) змінюються від 0,02 до 1,01 т·С·га<sup>-1</sup>, його найбільші запаси як і запаси С в підрості, виявлені під 70-ти і 110-ти річними деревостанами: відповідно 0,01 -0,95 т·С·га<sup>-1</sup>.

В досліджуваних екосистемах запас вуглецю 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 [153; 265].

Таблиця 5.1

Запаси вуглецю деревного і надґрунтового ярусів в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, т·С·га<sup>-1</sup>

Фракція фітомаси	Ялицево-буковий ялинник	Буковий ялинник	Буково-дубовий ялинник	Ялицевий-ялинник	Буково-ялиновий яличник
	Вік (роки)				
	30	45	50	70	110
<b>деревостан</b>	<b>94,94</b>	<b>104,54</b>	<b>154,43</b>	<b>133,73</b>	<b>191,39</b>
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
<b>підрріст</b>	<b>0,88</b>	<b>0,47</b>	<b>0,57</b>	<b>2,30</b>	<b>2,03</b>
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
<b>Моховий ярус</b>	<b>0,02</b>	<b>0,14</b>	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>0,11</b>
<b>Трав'яно-чагарничковий ярус</b>	—	<b>0,66</b>	<b>0,84</b>	<b>0,97</b>	<b>0,84</b>
надґрунтова частина	—	0,39	0,48	0,70	0,59
підземна частина	—	0,28	0,36	0,27	0,25
<b>ВСЯ ФІТОМАСА</b>	95,84	105,81	155,87	137,04	194,37
<b>НАДҐРУНТОВА ЧАСТИНА</b>	72,05	81,49	124,53	111,71	167,33
<b>ПІДЗЕМНА ЧАСТИНА</b>	23,79	24,32	31,34	25,33	27,05

*I – 30-ти річний ялицево-буковий ялинник мертвопокривний; 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-папортевий.*



\*\*\*

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

Запаси вуглецю 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<sup>-1</sup>, трав'яно-чагарничкового ярусу – 0 - 0,97 т·С·га<sup>-1</sup>, у той час, як мохового ярусу 0,02 - 0,14 т·С·га<sup>-1</sup>.

## 5.2 Блок “грунт”

Органічна речовина ґрунтового блоку лісових екосистем багатокomпонентна за походженням, морфологією, біохімічним та хімічним складом, що обумовлює різну стійкість її компонентів до біодеградації [139;143;167.]. У зв'язку з цим існує доцільність поділу органічної речовини за цією ознакою на дві фракції: легкомінералізуючої органічної речовини (ЛМОР), об'єднує весь фітодетрит на поверхні (CWD, лісова підстилка) і в товщі ґрунту (мертві корені, інший кореневий детрит). До неї зараховують мікробну біомасу (МБ), трансформовану частину фітодетриту і рухомі гумусові речовини легкокорозчинні у воді. Кожен із компонентів цієї фракції характеризується своєю швидкістю розкладу. Друга фракція органічної речовини це стабільний вуглець, який включає ґрунтовий гумус як специфічну органічну речовину ґрунту, стійку до біорозкладу. Час її колообігу становить десятки тисяч років і не порівняльний з параметрами, що характеризують участь в колообігу вуглецю продуктів життєдіяльності деревостану з моменту його формування до розкладу [143;171].

### 5.2.1 Фітодетрит

Аналіз структури запасів вуглецю у фітодетриті є однією із необхідних умов для коректної оцінки інтенсивності гетеротрофного дихання [35]. В результаті перерахунку запасів фітодетриту з використанням коефіцієнтів для кореневого

детриту 0,41; підстилки 0,45 і дебрису 0,5 отримуємо запас вуглецю у фітодетриті (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Структура запасів вуглецю у фітодетриті в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (у чисельнику  $t \cdot C \cdot га^{-1}$ , у знаменнику %)

Ділянка	дебрис (CWD)	підстилка	кореневий детрит	разом
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
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
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
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
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

Пул вуглецю фітодетриту досліджуваних екосистемах змінюється в межах – 14,76 - 34,7  $t \cdot C \cdot га^{-1}$ . 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  $t \cdot C \cdot га^{-1}$ . Величина запасів зумовлена як інтенсивністю надходження опаду (табл. 6.2) 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 (табл. 4.9), 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 ялинника: підстилка > дебрис > кореневий детрит.

### 5.2.2 Запас і концентрація рухомого вуглецю в компонентах фітодетриту

У процесах розкладу рослинного матеріалу в результаті реакції гідролітичного розщеплення та реакцій окислення-відновлення складних молекул білків, вуглеводів, ліпідів, лігніну та інших сполук у його складі, формується пул рухомої органічної речовини ( $C_{\text{пор}}$ ). 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 [1;140;171].

Для оцінки запасу вуглецю рухомої органічної речовини ( $C_{\text{пор}}$ ) в ґрунті і фітодетриті використовують його екстрагування холодною ( $C_{\text{ехв}}$  (18 - 20°C) та гарячою ( $C_{\text{егв}}$  (70-72°C) водою [36; 96; 272; 276].

Вміст водорозчинного органічного вуглецю є важливим і швидким способом оцінки пулу рухомої органічної речовини ґрунту [246]. В той же час  $C_{\text{ехв}}$  є однією із найактивніших і наймобільніших фракцій рухомої органічної речовини [227].

Зміна концентрації  $C_{\text{пор}}$ , його фракційно-групового складу в залежності від рівня біодеградації рослинних залишків характеризує специфіку і напрямок процесів трансформації [152;192].

У підстилках досліджуваних екосистем різниця середніх значень концентрацій водорозчинного вуглецю екстрагованого холодною водою ( $C_{\text{ехв}}$ ) знаходиться у відносно близьких межах, однак в різних її компонентах вона може відрізнятись в 3 рази та не перевищувати 2% від загального вмісту  $C$  (табл.5.3). В усіх досліджуваних екосистемах, окрім 70-ти річного ялицевого ялинника, 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  $C_{\text{ехв}}$  в залежності від екосистеми змінюється від 0,38 до 0,49 %. Дещо більший вміст виявлений у фракції насіння – 0,19-0,25%. Найбільша концентрація  $C_{\text{ехв}}$  виявлена для листя 0,63-1,90%.

Середні показники екстрагованих рухомих форм органічного вуглецю гарячою водою  $C_{\text{егв}}$  перевищують показники  $C_{\text{ехв}}$  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  $C_{\text{егв}}$  і  $C_{\text{ехв}}$ :  $r = 8.3$ .

Таблиця 5.3

Середній вміст водорозчинного вуглецю 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

Різниця концентрацій  $C_{\text{пор}}$  у фракціях підстилки обумовлена як хімізмом її компонентів, так і ступенем трансформації процесами біодеструкції. Так, найменші 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 сухостою характеризується порівняно незначними показниками вмісту рухомих форм вуглецю відповідно 0,29 і 2,72% для  $C_{\text{ехв}}$  і  $C_{\text{егв}}$  (рис. 5.1). У фракції "інший" кореневий детрит, на яку припадає більша частина запасу кореневого детриту в усіх досліджуваних

екосистемах сконцентровано 0,4 %  $C_{\text{схв}}$  і 3,16 %  $C_{\text{егв}}$ . Більша концентрація  $C_{\text{роп}}$  в цьому компоненті ймовірно спричинена його компонентним складом та ступенем його розкладу.

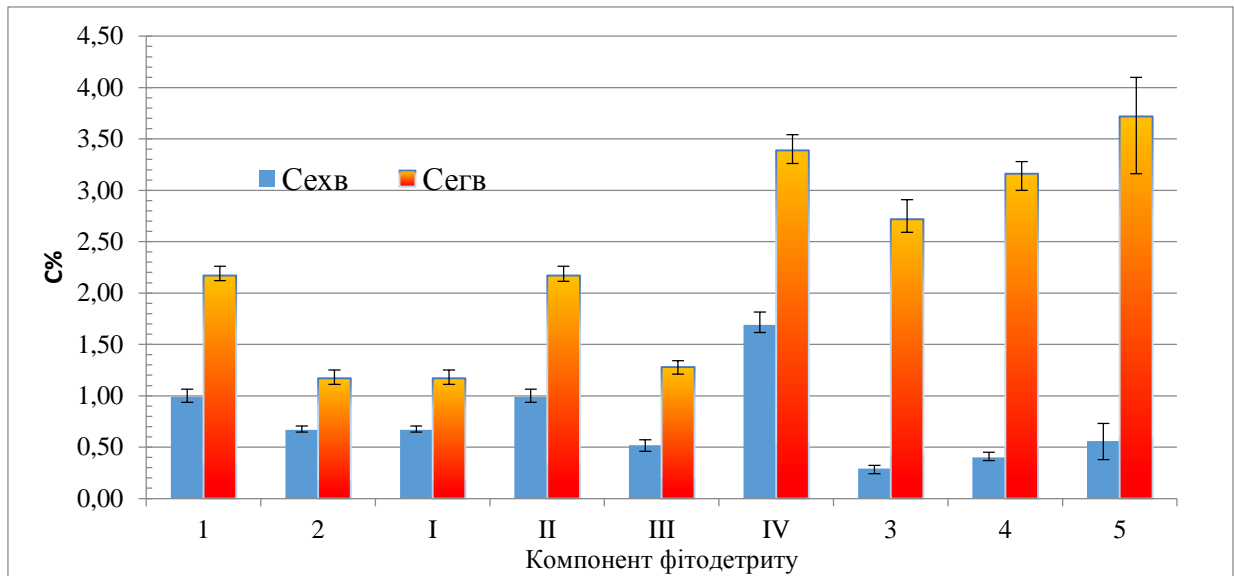


Рис. 5.1 Концентрація водорозчинного вуглецю в компонентах фітодетриту в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини  $C\%$  ( $n=3$ ) підстилка ( $n=5$ ) I- min/max. 1 - гілки, 2 – сухостій, 3 – коріння, 4 – інший кореневий детрит, 5 – підстилка, I-IV – стадії розкладу CWD.

Визначення вмісту водорозчинного вуглецю 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  $C_{\text{роп}}$ . Пул  $C_{\text{роп}}$  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 вуглецю, тоді як на наступній III стадії зафіксовано зменшення його вмісту до рівня I класу. Однак, найбільше значення  $C_{\text{роп}}$  виявлене у IV класі розкладу, в порівнянні із попередньою стадією його вміст збільшується в 3,3 для  $C_{\text{схв}}$  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 деревоїдними комахами [123]. Загалом, концентрація  $C_{\text{роп}}$  в ламані на різних стадіях розкладу варіює в межах 0,52-1,69 для  $C_{\text{схв}}$  і 1,17-3,39 % для  $C_{\text{егв}}$ . У порівнянні із

підстилкою та кореневим детритом, у ламані виявлено збільшення вмісту  $C_{сгв}$  від  $C_{схв}$  лише в 1,8-2,5 рази.

Пул рухомого вуглецю у фітодетриті досліджуваних екосистем змінюється від 0,4 до 0,85  $t \cdot га^{-1}$  (рис. 5.2). 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.

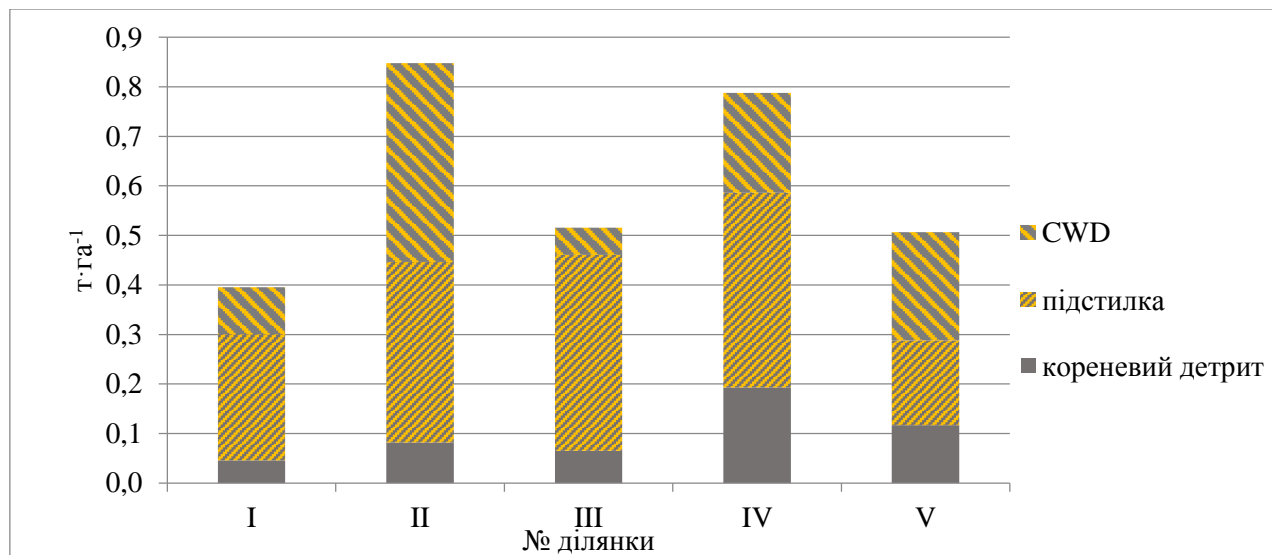


Рис. 5.2. Запас рухомого вуглецю у фітодетриті в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини  $t \cdot га^{-1}$

Встановлено, що пул  $C_{рор}$  в буково-дубовому ялиннику становить  $0,52 t \cdot га^{-1}$ . У цій екосистемі запаси  $C_{рор}$ , на відміну від загального  $C$  є більшими, ніж у екосистемі 30-ти річного ялицево-букового ялинника, що зумовлено більшою часткою листя у підстилці, яке має більшу концентрацію рухомих форм вуглецю. Частка  $C_{рор}$  підстилки від загальних його запасів становить 76,9%,  $C_{рор}$  дебрису і кореневого детриту становить відповідно 13,5 і 9,6%. В умовно корінному угрупованні, де запаси  $C_{рор}$  у фітодетриті становлять  $0,51 t \cdot га^{-1}$ , 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 ялинника запас рухомого  $C$  становить  $0,79 t \cdot га^{-1}$ , 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 ялинника  $0,85 t \cdot га^{-1}$ , як згадувалось раніше такий пул сформований в основному за рахунок грубих деревних залишків  $0,4$

$t \cdot \text{га}^{-1}$  (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 вуглецю, 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 ялинника, 50-ти річного буково-дубового ялинника та 70-ти річного ялицевого ялинника основним резервуаром рухомого вуглецю є підстилка, в інших двох, цей запас більш рівномірно розподілений між CWD і підстилкою.

### 5.2.3. Гумусові сполуки

Гумус - сукупність всіх органічних сполук у ґрунтовому профілі, які втратили зв'язок з елементами структурної організації клітин і тканин. Гумус є суто ґрунтовим утворенням [105]. Запас вуглецю в ґрунті залежить від вмісту даного елемента, щільності будови (або об'ємної ваги) та потужності ґрунтових горизонтів. Унаслідок гумусово-аккумулятивного процесу в ґрунтах буроземного типу ґрунтоутворення, в 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 вуглецю 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  $0,45-1,4 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$  та збільшується із глибиною (рис. 5.3).

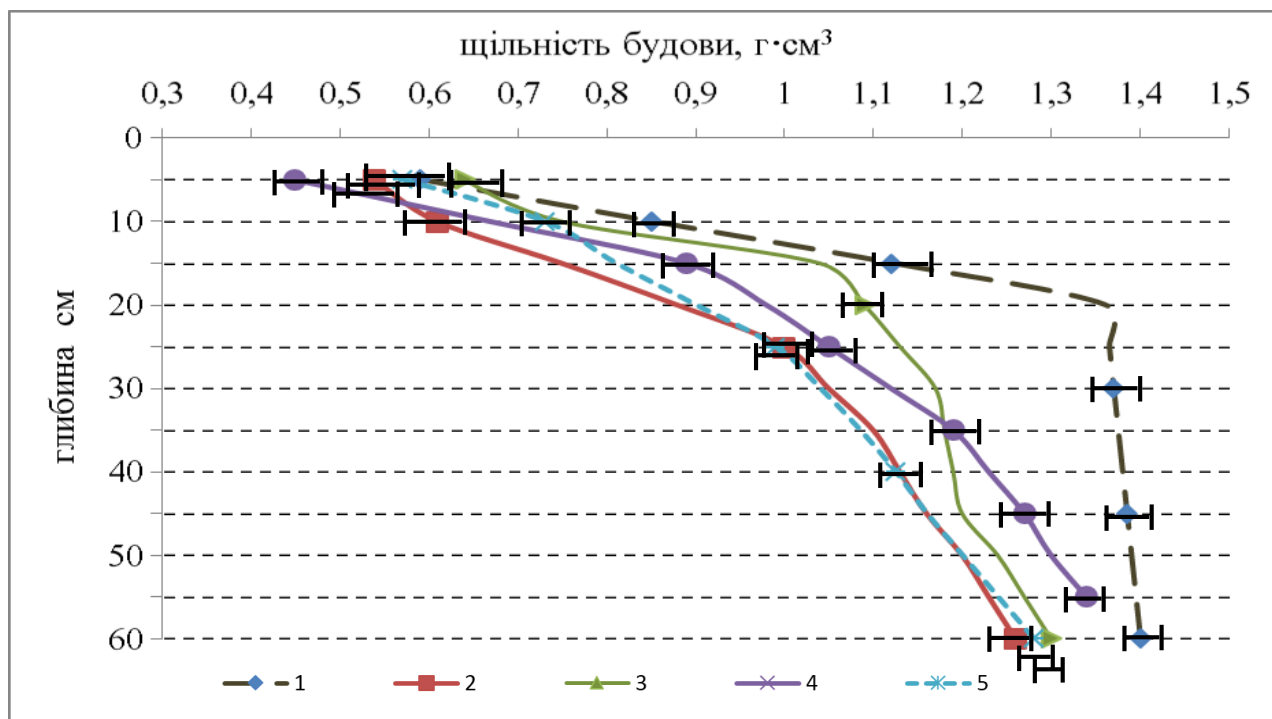


Рис. 5.3. Профільна диференціація щільності будови бурих лісових ґрунтів в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини  $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$  ( $n=3$ ), (назви ділянок див. рис 5.2)  $\text{—|—}$  – *min/max*

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

Вміст вуглецю 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 (табл. 5.4). Ця тенденція є характерною для профільного розподілу органічного вуглецю в буроземах Українських Карпат [137].



На підставі концентрації вуглецю 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<sup>-1</sup> (рис. 5.4). Різниця запасів  $C_{\text{гумус}}$  насамперед пов'язана з концентрацією вуглецю гумусових сполук, передовсім 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 ялинник).

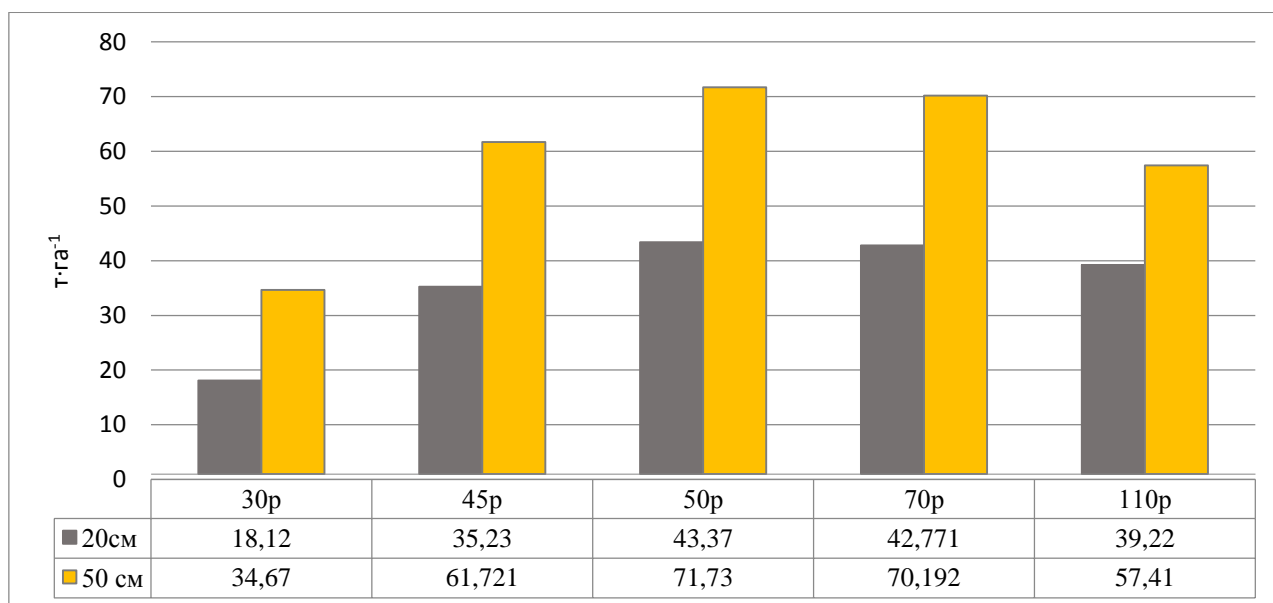


Рис. 5.4. Запас вуглецю в 20 і 50-ти см шарі бурих лісових ґрунтів в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини т·га<sup>-1</sup>, (назви ділянок див. рис 5.2)

Шар 0-20 см органо-мінеральної частини ґрунтового профілю відрізняється найбільшим надходженням органічних залишків, високою мікробіологічною активністю і значною інтенсивністю процесів мінералізації та гуміфікації [7;281]

Близько 52-68% запасів  $C_{\text{гумус}}$  зосереджено в 20 см шарі ґрунтового профілю (рис. 5.4). Загалом його запаси змінюються у відносно незначних межах: 35,23-43,37 т·га<sup>-1</sup>, за винятком ділянки 30-ти річного ялицево-букового ялинника де запаси становлять 18,12 т·га<sup>-1</sup>, це зумовлено незначною потужністю гумусового горизонту - 6,0 см та низькою концентрацією гумусових сполук (табл. 5.4), що пов'язано з його формуванням з колишнього орного горизонту.

Вміст і запас вуглецю гумусових сполук в досліджуваних лісових екосистемах  
Стрийсько-Сянської Верховини т·га<sup>-1</sup>

грунтовий горизонт	глибина см	C <sub>гумус</sub>		C <sub>роп</sub>		C <sub>роп</sub> /C <sub>гумус</sub> %
		C%	т·га <sup>-1</sup>	C %	т·га <sup>-1</sup>	
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

#### 5.2.4 Мікробна біомаса

Використовуючи в якості джерела живлення різноманітні органічні субстрати, гетеротрофні мікроорганізми (бактерії, гриби, актиноміцети) забезпечують до 80-90% мінералізації загальної первинної продукції наземних екосистем [6;128]. Мікробна біомаса ґрунтів є пулом легкомінералізованої органічної речовини та

основним агентом мінералізації рослинних решток та гумусових сполук. При відносно незначній частці С мікробної біомаси ( $C_{mb}$ ) в загальних запасах ґрунтової органічної речовини (0,3-3,0%), велике значення має її біотична активність, що забезпечує перерозподіл вуглецю 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  $мк \cdot г^{-1}$  (табл.5.5). В перехідному горизонті концентрація  $C_{mb}$  зменшується в 5,6-7,0 разів. В екосистемі 70-ти річного ялицевого ялиника при переході з горизонту Нt до Н зменшення є менш різким (1,2 рази). Різниця вмісту вуглецю мікробної біомаси в ґрунтах досліджуваних екосистем обумовлена породним складом деревостанів, і як результат різним біохімічним впливом рослинного детриту на мікробіоту.

Таблиця 5.5

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

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

Частка мікробного вуглецю у вуглеці гумусових сполук ( $C_{гумус}$ ) - важливий показник якості органічної речовини і її відносної доступності, для ґрунтових

мікроорганізмів [3]. В досліджуваних ґрунтах відношення  $C_{\text{мб}}/C_{\text{гумус}}$  у верхньому гумусовому горизонті (Н) становить - 1,6-2,3% та суттєво не змінюється в горизонті Н<sub>p</sub> - 1,4-2,3%, винятком є ґрунт під ялицевим ялиником де в горизонті Н  $C_{\text{мб}}$  від  $C_{\text{гумус}}$  становить 3,2%, що може свідчити про акумулювання вуглецю ґрунтовою мікробною біомасою [224].

Сумарні запаси  $C_{\text{мб}}$  в ґрунтовій товщі 0-20 см змінюються в межах 0,39-1,15 т·га<sup>-1</sup>. Найменші запаси виявлені у екосистемі 30-ти річного ялицево-букового ялиника, а найбільші у 70-ти річного ялицевого ялиника. 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  $C_{\text{роп}}$  та між  $C_{\text{мб}}$  і  $C_{\text{гумус}}$  ( $r=0,82$ ).

### 5.3 Пул вуглецю в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини

За даними Н.Н Кошуриркової [107] запаси вуглецю в лісових екосистемах 90-річних темнохвойних лісів південної тайги становлять 277,38 С т·га<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> і співвідносяться як 54:10:41% [214].

Встановлено, що запаси вуглецю в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини становлять 144,71-271,73 т·га<sup>-1</sup> (табл. 5.6; рис. 5.5). Частка вуглецю фітомаси знаходиться в межах 52,3 - 71,3% (рис.5.6).

Участь фітодетриту у екосистемному пулі  $C_{\text{орг}}$  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 фітодетриту припадає на екосистему 45-ти річного букового ялиника, що обумовлено значним вкладом грубих деревних залишків.

Частка запасів  $C_{\text{гумус}}$  в 50 см шарі ґрунту від загального вуглецю 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 вуглецю між 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%.

Таблиця 5.6

Розподіл вуглецю в основних компонентах досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, т·С·га<sup>-1</sup>

Основні компоненти	№ ділянки*				
	I	II	III	IV	V
фітомаса надгрунтової 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
<b>фітомаса разом</b>	<b>95,84</b>	<b>105,81</b>	<b>155,87</b>	<b>137,04</b>	<b>194,37</b>
фітодетрит надземна частина	14,56	31,99	12,99	19,67	17,69
$C_{\text{РОР}}$	0,7	1,54	0,9	1,18	0,78
у тому числі CWD	7,84	23,5	3,83	10,41	13,01
$C_{\text{РОР}}$	0,2	0,8	0,1	0,4	0,44
підстилка	6,71	8,49	9,16	9,26	4,67
$C_{\text{РОР}}$	0,5	0,72	0,8	0,78	0,34
фітодетрит підземна частина	1,28	2,78	1,77	5,3	3,23
$C_{\text{РОР}}$	0,1	0,16	0,14	0,38	0,24
<b>фітодетрит разом, у т.ч</b>	<b>15,84</b>	<b>34,77</b>	<b>14,76</b>	<b>24,97</b>	<b>20,92</b>
<b><math>C_{\text{РОР}}</math> разом</b>	<b>0,8</b>	<b>1,7</b>	<b>1,04</b>	<b>1,58</b>	<b>1,02</b>
<b><math>C_{\text{гумус}}</math> ґрунту (0-50 см),</b>	<b>34,67</b>	<b>61,72</b>	<b>71,73</b>	<b>70,19</b>	<b>57,41</b>
<b>в т.ч <math>C_{\text{РОР}}</math> ґрунту (0-50см)</b>	<b>0,4</b>	<b>1,34</b>	<b>1,5</b>	<b>1,88</b>	<b>1,46</b>
<b>ЗАГАЛЬНИЙ ЗАПАС</b>	<b>146,35</b>	<b>202,3</b>	<b>242,36</b>	<b>232,2</b>	<b>272,7</b>
<b>у т.ч <math>C_{\text{РОР}}</math></b>	<b>1,2</b>	<b>3,04</b>	<b>2,54</b>	<b>3,46</b>	<b>2,48</b>

Легкомінералізуюча фракція органічної речовини, є основним джерелом формування потоку вуглецю до атмосфери у вигляді CO<sub>2</sub>. Вона складається з органічної речовини рослинних решток на поверхні і в ґрунтовій товщі, а також рухомої частини гумусових сполук [35; 171]. Її запас вуглецю у фітодетриті та 50-ти см шарі ґрунту досліджуваних екосистем змінюється від 15,5 до 35,4 т·га<sup>-1</sup> C<sub>лмор</sub> (табл.5.6), що становить 17.9 - 36.7 % від загального вуглецю ґрунтового блоку.

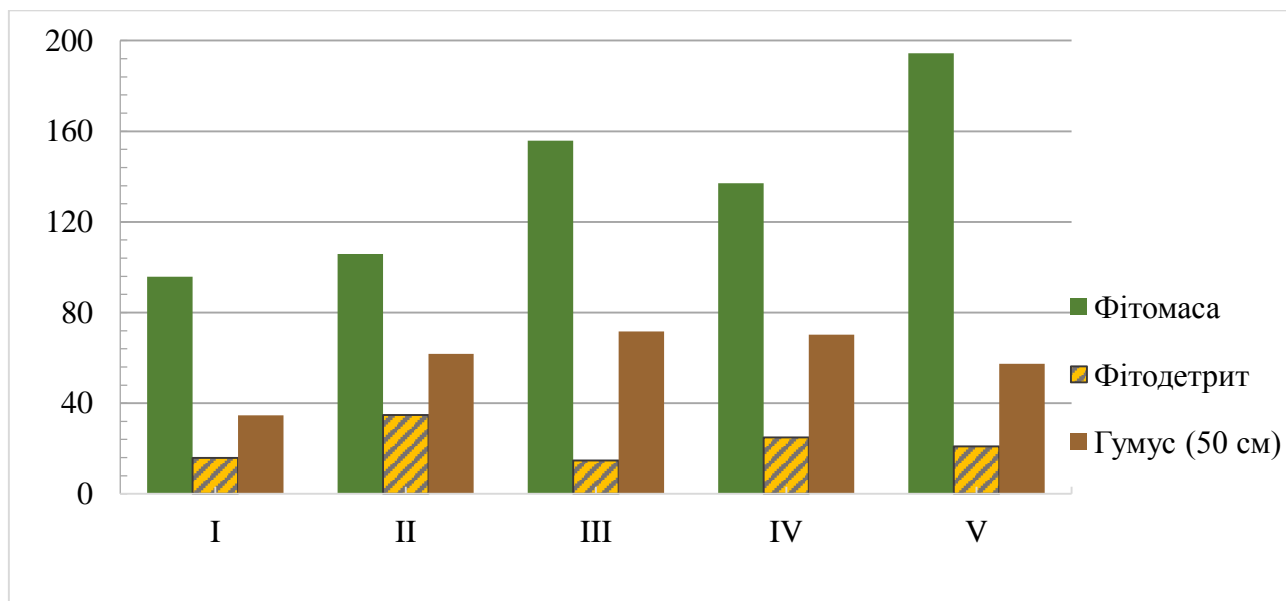


Рис.5.5 Пул вуглецю в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, (назви ділянок див. рис 5.2)

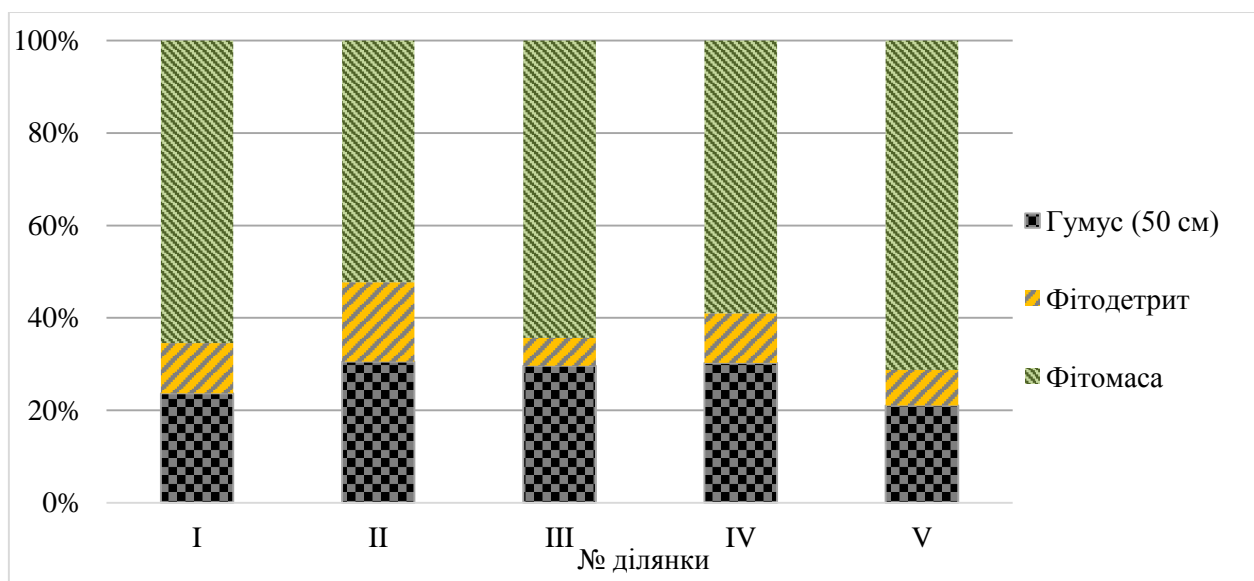


Рис. 5.6 Структура пулу вуглецю в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, (назви ділянок див. рис 5.2)

Основна частина фракції представлена рослинними залишками (фітодетритом ( $C_{\text{лор}}$ ). На частку рухомих форм вуглецю  $C_{\text{рор}}$  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 вуглецю 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 вуглецю екосистеми є найменшою і становить 23,7-30,5%. Різниця запасів  $C_{\text{гумус}}$  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 вуглецю 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  $C_{\text{фітомаса}} > C_{\text{гумус}} > C_{\text{фітодетрит}}$ .

## РОЗДІЛ 6. ІНТЕНСИВНІСТЬ ОСНОВНИХ ОБМІННИХ ПОТОКІВ ЦИКЛУ ВУГЛЕЦЮ

Цикл вуглецю в лісових екосистемах розглядається як складна взаємодія двох основних процесів: поглинання атмосферного вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) надземною рослинністю для створення продукції та емісія в атмосферу  $\text{C}$ -  $\text{CO}_2$  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 [33; 35].

### 6.1 Асиміляція вуглецю в чистій первинній продукції

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 [70;92;153]. Величина приросту деревостану варіює в значних межах: від 2,6 до 4,0  $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$  в лісотундрі, 8,1-10,0  $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$  в мішаних лісах та в хвойних лісах становить 6,1-14,2  $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$  органічної речовини [8]. Ялинові ліси Українських Карпат акумулюють від 7,6 до 11,3  $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$  [48], букові - 8,1-19,8, а буково-ялинові й ялинові відповідно 12,7 та 17,5  $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$  [12].

В досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини деревний ярус формує щорічно від 9,61 до 12,92  $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$  органічної речовини. Максимальне значення NPP припадає на екосистему 70-ти річного ялицевого ялиника (табл. 6.1). 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.6.1)

Найменший чистий приріст фітомаси виявлений у 30-ти річному ялицево-буковому ялинику - 9,61  $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$ , що в першу чергу обумовлено незначними запасами фітомаси деревного ярусу.



Чистий приріст органічної маси деревостанів в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини т·га<sup>-1</sup> 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

В досліджуваній екосистемі розподіл чистого приросту деревного ярусу за породами має наступний вигляд: бук - 49, ялина -34 і ялиця 17%. 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 ( $9,65 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ ), незначний приріст фітомаси зумовлений зменшенням ефективності формування річного приросту стиглих деревостанів [153]. 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.

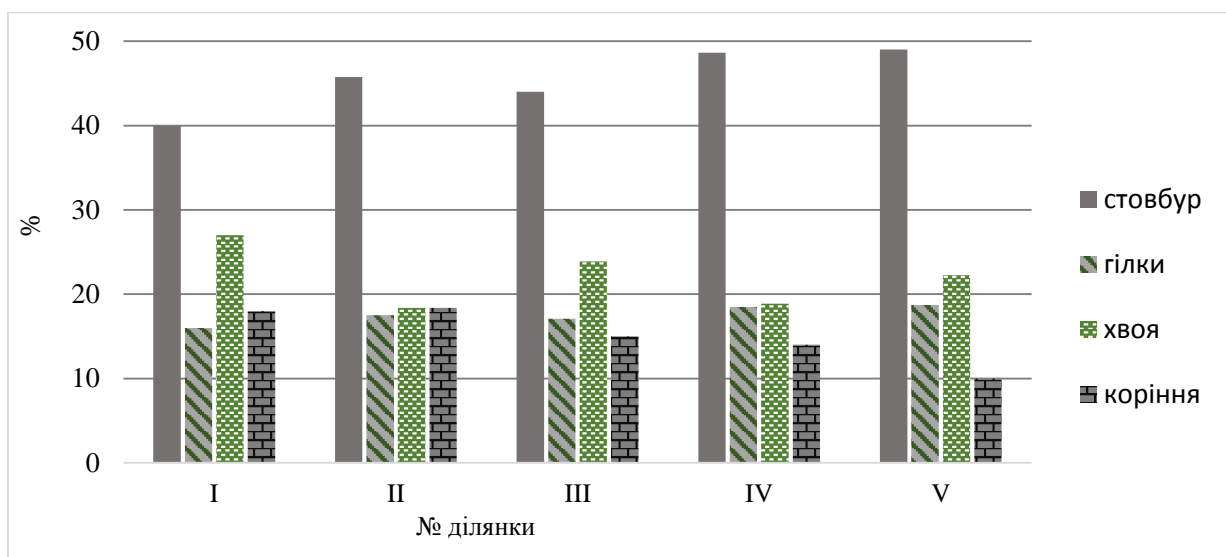


Рис.6.1 Розподіл NPP по компонентах деревостану в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, %

*I – 30-ти річний ялицево-буковий ялинник мертвопокривний; 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-папортевий.*

Щорічний чистий приріст фітомаси у 45-ти річному буковому ялиннику становить  $11,17 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ , де ялина продукує 92% від усієї річної продукції деревного ярусу. На приріст стовбуру припадає 46%, в однаковій мірі в продукції фітомаси 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  $11,82 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ . 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  $12,92 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ , 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%

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 [77;113].

В досліджуваних екосистемах найбільшим питомим приростом фітомаси характеризуються 30-ти і 45 ти річні угруповання відповідно 5 і 5,3 % (табл.6.2)

Таблиця 6.2

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 див. рис 6.1)

Питома частка приросту хвої серед усіх досліджуваних екосистем є найвищою і знаходиться в межах 24,7-14,4%. У 50-ти річному буково-дубовому ялиннику питомий приріст становить 3,7%. У 70-ти річному ялицевому ялиннику 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 опублікованим раніше даним [48;111; та ін.].

При оцінці NPP фітоценозу облік річного приросту по окремих ярусах дозволяє глибше зрозуміти взаємодію деревної рослинності трав'яно-чагарничкового і мохового ярусів [150]. За даними Я.П. Одинака, Д. В. Борсука [12] річним приростом трав'яного ярусу букових лісів Українських Карпат утворюється 0,1-0,5 т·га<sup>-1</sup> для ялинових лісів 0,01 – 0,2 т·га<sup>-1</sup> [48].

За нашими даними в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини річний приріст фітомаси підросту знаходиться в межах 0,06-0,37 т·га<sup>-1</sup> (табл.6.3).

Таблиця.6.3

Чистий приріст рослин нижніх ярусів в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини т·га<sup>-1</sup> рік<sup>-1</sup>

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
<b>Всього</b>	<b>0,12</b>	<b>0,93</b>	<b>1,04</b>	<b>1,54</b>	<b>1,40</b>

(назви ділянок див. рис 6.1)

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<sup>-1</sup>, 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<sup>-1</sup>, 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.

Керуючись літературними даними [68; 70; 92; 190.] для перерахунку фітомаси річного чистого приросту у вуглець, використовували коефіцієнт 0,5 для здерев'янілих частин рослин і 0,45 для листя, хвої та трав'яно-чагарничкового ярусу.

Отже, сумарна інтенсивність акумулювання вуглецю коливається від 4,73 до 7,12 т С·га<sup>-1</sup> (табл. 6.4). 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 вуглецю є незначною - 0,03 - 0,20 т С·га<sup>-1</sup>, що становить 0,5-3,3% від загальної NPP рослинними угрупованнями.

Таблиця.6.4

Інтенсивність акумулювання вуглецю в чистій первинній продукції в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, т·га<sup>-1</sup>Срік<sup>-1</sup>

Ярус рослинності	№ ділянки				
	I	II	III	IV	V
<b>Надгрунтова частина</b>	<b>3,87</b>	<b>4,85</b>	<b>5,32</b>	<b>6,14</b>	<b>4,88</b>
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
<b>Підземна частина</b>	<b>0,86</b>	<b>1,10</b>	<b>0,98</b>	<b>0,98</b>	<b>0,55</b>
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
<b>Разом</b>	<b>4,73</b>	<b>5,94</b>	<b>6,29</b>	<b>7,12</b>	<b>5,43</b>

(назви ділянок див. рис 6.1)

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 своєю рідною компенсацією загальної продукції вуглецю за рахунок різних ярусів рослинності.

## 6.2 Відмирання фітомаси

Важливою характеристикою біопродукційного процесу є кількість первинної продукції, що відмирає протягом року та надходить в опад. Мертві рослинні залишки, потрапляючи на поверхню ґрунту, стають основним джерелом органічної речовини блоку “ґрунт”. До опадів належать: опад деревного ярусу, кореневий опад, а також відмерлі частини рослин трав'яно-чагарничкового і мохового ярусів [79; 153].

Кількість опадів у хвойних лісах коливається від 2 до 7 т·га<sup>-1</sup>, що становить 1,5-2,0 % органічної речовини зосередженої в біомасі фітоценозу [153]. Для букових лісів Бескидського регіону Українських Карпат опад деревного і трав'яно-чагарничкового ярусів становить 3,6-4,1 т·га<sup>-1</sup> [12].

Таблиця.6.5

Інтенсивність відмирання рослинної фітомаси в досліджуваних екосистемах  
Стрийсько-Сянської Верховини т·га<sup>-1</sup> ·рік<sup>-1</sup>

Ярус рослинності	№ ділянки				
	I	II	III	IV	V
<b>Опад всього, в т.ч.</b>	<b>4,87</b>	<b>6,90</b>	<b>9,55</b>	<b>6,89</b>	<b>5,58</b>
<b>Надземна частина</b>	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
<b>Підземна частина</b>	<b>0,74</b>	<b>1,13</b>	<b>1,33</b>	<b>0,90</b>	<b>0,57</b>
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
<b>Відпад всього</b>	<b>1,45</b>	<b>1,69</b>	<b>0,37</b>	<b>0,47</b>	<b>0,57</b>
<b>Разом</b>	<b>6,32</b>	<b>8,59</b>	<b>9,92</b>	<b>7,36</b>	<b>6,16</b>

(назви ділянок див. рис 6.1)

В досліджуваних екосистемах величина річного опаду і відпаду що надходить на поверхню і в товщу ґрунту становить 6,16-9,92 т·га<sup>-1</sup> (табл.6.5), 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 опаду надземних органів деревного ярусу мали місце в 70-ти річному ялицевому ялиннику 5,52 т·га<sup>-1</sup>·рік, найменші у 30-ти річному ялицево-буковому ялиннику 4,13 т·га<sup>-1</sup>·рік. В усіх досліджуваних екосистемах основна маса опаду надземних органів деревного ярусу припадає на хвою (листя) 48-79%, частка гілок та плодів становить відповідно 15-20%; 1-8% (табл.6.6).

Таблиця.6.6

Фракційний склад деревного опаду в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини у чисельнику т·га<sup>-1</sup>·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
<b>Разом</b>	<b><u>4,13</u></b> <b>100</b>	<b><u>5,26</u></b> <b>100</b>	<b><u>7,70</u></b> <b>100</b>	<b><u>5,52</u></b> <b>100</b>	<b><u>4,50</u></b> <b>100</b>

(назви ділянок див. рис 6.1)

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) [79]. Тому була проаналізована структура опаду і питома частина окремих фракцій від їх сумарної кількості (рис.6.2).

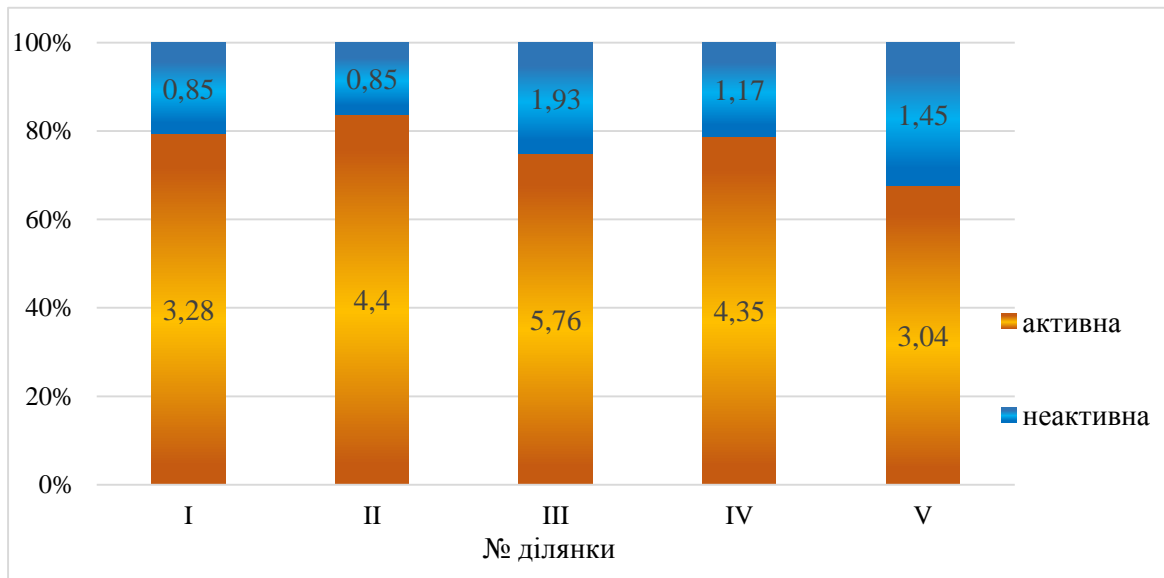


Рис.6.2 Співвідношення фракцій деревного опаду в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини. (назви ділянок див. рис 6.1)

*Цифри у стовпцях – кількість деревного опаду  $t \cdot ga^{-1}$  за рік*

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 ялиннику і 45 - річному буковому ялиннику; 81-83 % в 50 - річному буково- дубовому ялиннику і 30 - річному ялицево-буковому ялиннику. 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 [153].

Відмирання підземних органів відбувається протягом усього вегетаційного сезону і характеризується різною інтенсивністю, яка в першу чергу регулюється запасом корневих систем [168]. Щорічне надходження вуглецю 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 [135].

В досліджуваних екосистемах протягом року відмирає від 0,45 до 1,16 т·га<sup>-1</sup> коріння, що становить 1,1-2,3% його загального запасу. Коренева система



трав'яно-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.

Інтенсивність відпаду органічної речовини акумульованої у відмерлих деревах (сухостій) змінюється в значних межах - від 0,37 до 1,45 т·га<sup>-1</sup>, що становить 3,8-22,9% від загального надходження фітодетриту протягом року.

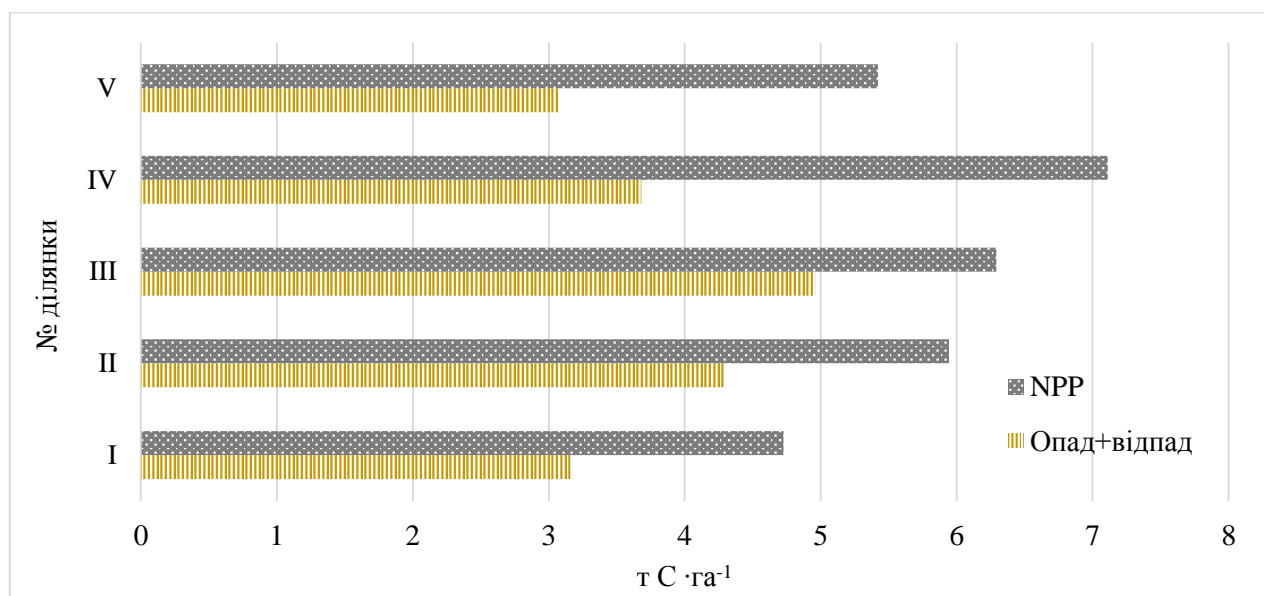


Рис.6.3 Приріст і відмирання фітомаси в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини т·га<sup>-1</sup> рік, (назви ділянок див. рис 6.1)

Отже в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини протягом року інтенсивність надходження вуглецю, що входить до складу опаду і відпалу становить від 52 до 79% від чистої первинної продукції (рис.6.3). Найбільшу частку опаду виявлена в екосистемі 50-ти - річного буково-дубового ялинника, що зумовлено насамперед значною кількістю опаду деревного ярусу (табл.6.5) Найменша частка надходження фітодетриту від величини річного приросту характерна для екосистеми 70-ти річного ялицевого ялинника в основному за рахунок великої кількості NPP.

### 6.3 Мінералізація органічної речовини

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. [33;35;143;168]. Сумарний мінералізаційний потік С-СО<sub>2</sub> 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 СО<sub>2</sub>, що виділяється в екосистемі за рік, тобто через величину гетеротрофного дихання (Resp). В результаті сумарний мінералізаційний потік або гетеротрофне дихання розраховується як:

$$\text{Resp} = \text{CO}_2_{\text{ЛОР}} + \text{CO}_2_{\text{РОР}} ;$$

#### 6.3.1. Емісія СО<sub>2</sub> з поверхні грубих деревних залишків

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 С-СО<sub>2</sub> між атмосферою і лісовим покривом. Тому одне з найбільш необхідних напрямів досліджень є вивчення процесів біотичного розкладу деревини й обумовленої цим емісії С-СО<sub>2</sub> [160; 165].

З огляду на це, визначення емісії СО<sub>2</sub> 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-СО<sub>2</sub> від першої до четвертої стадії розкладу. Мінімальне виділення С-СО<sub>2</sub> виявлено для першої стадії розкладу деревини: 0,71 мг·С-СО<sub>2</sub>·кг·год (рис.6.4). Це зумовлено тим, що на цьому етапі відбувається заселення грибів деструкторів деревини.

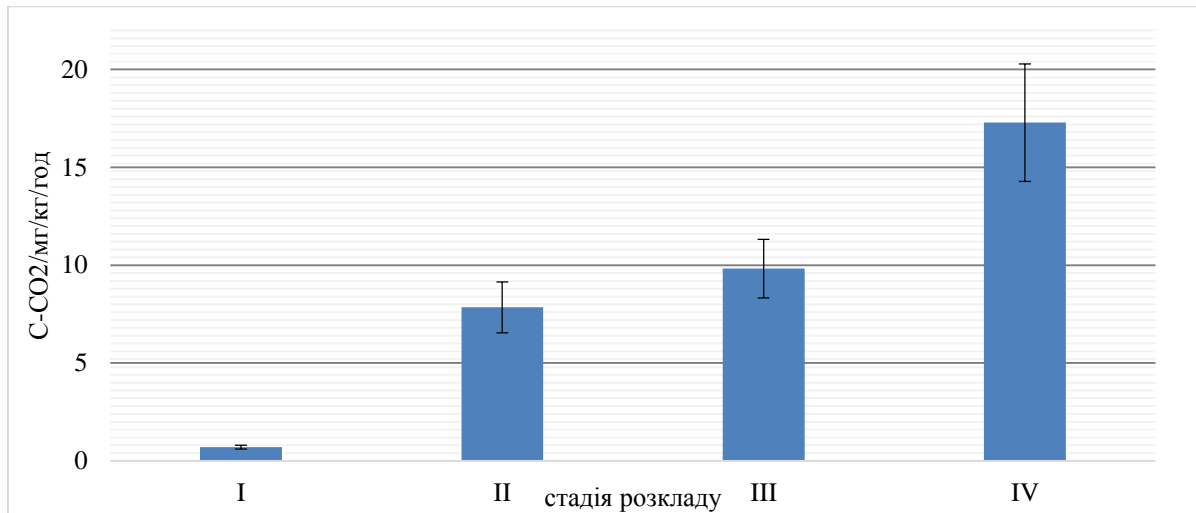


Рис.6.4 Інтенсивність виділення C-CO<sub>2</sub> із ламані в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, (назви ділянок див. рис 6.1)  $\bar{x}$  - середнє,  $\sigma$  - похибка середнього ( $\sigma$ )

Друга стадія розкладу характеризується активнішою емісією, що свідчить про активізацію ксилолізу деревини, кількість виділення C-CO<sub>2</sub> у порівнянні із попередньою стадією збільшується в 11 разів і становить 7,85 мг·C-CO<sub>2</sub>·кг·год . Дещо більші значення виявлені в деревині третьої стадії розкладу 9,82 мг·C-CO<sub>2</sub>·кг<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>, 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 C-CO<sub>2</sub> є найбільшою - 17,28 мг·C-CO<sub>2</sub>·кг·год. Загалом виявлено тісний кореляційний зв'язок між емісією C-CO<sub>2</sub> з ламані і вмістом в ній водорозчинних сполук вуглецю ( $r = 0.84$ ).

### 6.3.2 Емісія CO<sub>2</sub> з поверхні ґрунту (0 – 20 см)

Інтенсивність емісії CO<sub>2</sub> з ґрунту, є показником ґрунтово-біологічних процесів та є одним із основних факторів продуктивності фітоценозу [80]. Співвідношення складових емісії коливається залежно від кліматичних умов, типу екосистеми й типу ґрунту [13;119], а частка лісової підстилки як джерела емісії CO<sub>2</sub> становить 12-50% [101;221]. Процес виділення CO<sub>2</sub> у атмосферу може продовжуватися й незалежно від дихальної активності ґрунтів, лише за рахунок фізичних процесів, що підтверджується фактами реєстрації потоків CO<sub>2</sub> у зимовий період з поверхні тундрових ґрунтів, коли біотична активність ґрунтів практично припиняється [193].

Дослідженнями емісії діоксиду вуглецю з шару ґрунту (0-20 см) встановлено, що найбільші показники виділення CO<sub>2</sub> характерні для екосистеми 70-ти річного ялицевого ялиника - 3,6 г·С-CO<sub>2</sub>·м<sup>-2</sup>·доба<sup>-1</sup> (табл. 6.7). Вважаємо, що це передусім зумовлене кількісними та якісними показниками органічного вуглецю як у підстилці, так і в ґрунті (табл.5.6).

Таблиця.6.7

Виділення С-CO<sub>2</sub> з поверхні ґрунту (0 - 20 см) в досліджуваних екосистемах  
Стрийсько-Сянської Верховини г·С-CO<sub>2</sub>·м<sup>-2</sup>·доба<sup>-1</sup>

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 див. рис 6.1)

Подібну залежність виявлено в усіх зразках ґрунтових монолітів досліджуваних екосистемах. Виявлено тісний кореляційний зв'язок із вмістом водорозчинного вуглецю в ґрунті і інтенсивністю виділення С-CO<sub>2</sub> (r=0,91), цей зв'язок є дещо вагоміший у порівнянні із результатами, що були отримані для екосистем Українських Карпат: Чорногірського масиву [212] та Сколівських Бескидів [215], де кореляція становила 0,74; 0,81 відповідно. Позитивний зв'язок С – CO<sub>2</sub> та C<sub>POF</sub> 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 т·С-CO<sub>2</sub>·га<sup>-1</sup>·рік<sup>-1</sup>. Основна частина потоку вуглецю в атмосферу формується в результаті мінералізації рослинних решток і рухомих форм гумусу ґрунту. (рис.6.5). На частку виділення діоксиду вуглецю в наслідок мінералізації кореневого детриту припадає 16-28%. Основна частка діоксиду

вуглецю 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%.

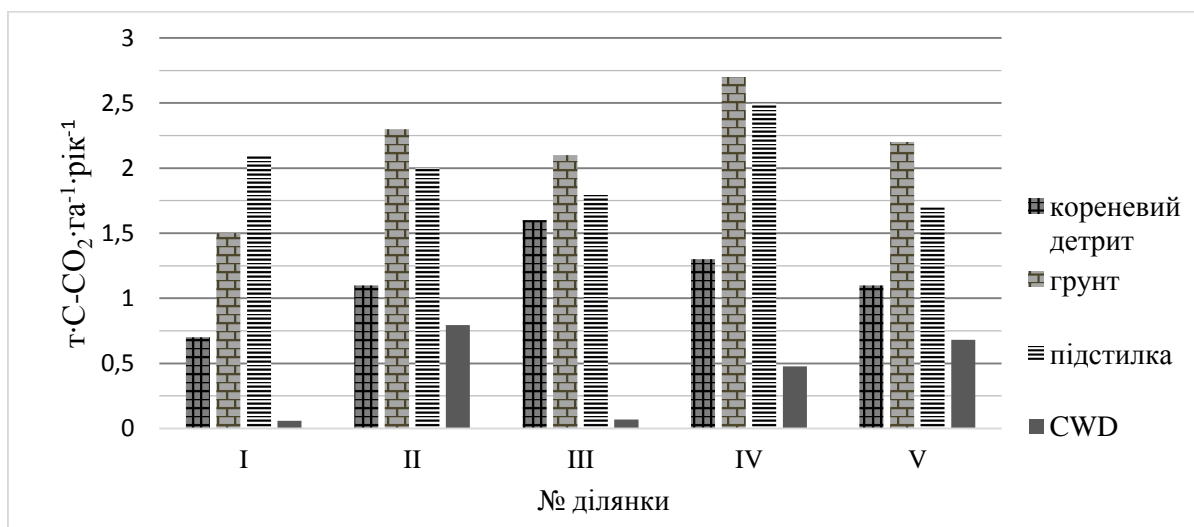


Рис.5.5 Інтенсивність виділення  $\text{CO}_2$  компонентами ґрунтового блоку в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини  $\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$ , (назви ділянок див. рис 6.1)

#### 6.4 Інтенсивність процесів, які формують запаси надґрунтового фітодетриту

При опаді рослинних залишків 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. Зворотнє 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  $\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$ , що становить 1,4-3,5% від надземної фітомаси екосистем. Подібні результати представлені іншими дослідниками [30;74;153]. Втрати вуглецю від розкладу фітодетриту становлять 44-93% від його надходження (табл. 6.8). Отже, в усіх екосистемах спостерігається збільшення запасів фітодетриту протягом року. В основному воно є незначне від 0,22 до 0,92  $\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$ , винятком є екосистема 50 - річного буково-дубового ялиника (2,41  $\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$ ), 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<sup>-1</sup>. 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-СО<sub>2</sub> 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<sup>-1</sup>, за винятком екосистеми 50-ти річного буково-дубового ялинника, де протягом року накопичується – 2,27 т·С·га<sup>-1</sup>.

Таблиця.6.8

Інтенсивність процесів, що формують запас надґрунтового фітодетриту т·С-  
СО<sub>2</sub>·га<sup>-1</sup>·рік<sup>-1</sup>

Процес	*№ ділянки				
	I	II	III	IV	V
<b>Надходження</b>	<b>2,79</b>	<b>3,73</b>	<b>4,3</b>	<b>3,23</b>	<b>2,8</b>
опад	2,07	2,88	4,11	2,99	2,51
відпад	0,72	0,85	0,19	0,24	0,29
<b>Вивільнення</b>	<b>2,18</b>	<b>2,84</b>	<b>1,91</b>	<b>3,04</b>	<b>2,42</b>
мінералізація підстилки	2,1	2	1,8	2,5	1,7
мінералізація CWD	0,06	0,8	0,07	0,48	0,68
Вимивання С <sub>Н20</sub> з підстилки	0,02	0,04	0,04	0,06	0,04
<b>Баланс (доповнення-зменшення)</b>	<b>0,61</b>	<b>0,89</b>	<b>2,39</b>	<b>0,19</b>	<b>0,38</b>
підстилка	-0,05	0,84	2,27	0,43	0,77
CWD	0,67	0,05	0,12	-0,24	-0,39
<b>Баланс,% від Сфітодетриту</b>	<b>4,19</b>	<b>2,86</b>	<b>18,52</b>	<b>0,97</b>	<b>2,27</b>

*\*(назви ділянок див. рис 6.1)*

Для визначення кількості міграції рухомого С з підстилки, були встановлені лізиметри. Зафіксовано, що величина міграції вуглецю з підстилки є незначною (0,02-0,06 т·С<sub>РОР</sub>·га<sup>-1</sup>) 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 екосистеми 30-ти і 45-ти річних деревостанів, в яких запаси сухостою і ламані початкових стадій розкладу є значними, спостерігатиметься збільшення темпів ксилолізу CWD, що, ймовірно, призведе до змін у балансі процесів, які формують запаси фітодетриту за рахунок збільшення потоку C –CO<sub>2</sub>.

## РОЗДІЛ 7. ЧИСТА ЕКОСИСТЕМНА ПРОДУКЦІЯ ТА БАЛАНС ВУГЛЕЦЮ

Величина чистої екосистемної продукції (NEP) визначається як різниця інтенсивності процесів продукційної і деструкційних ланок циклу вуглецю:  $NEP = NPP - Resp$ . У клімаксових екосистемах за період декількох десятиків 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 [169]. Прийнято вважати, що функції депонування вуглецю переважно властиві молодим і середньовіковим деревостанам, а стиглі і перестійні по відношенню до вуглецю виконують функцію збереження (консервацію), слабо поглинаючи  $CO_2$ , або є «джерелом» вуглекислоти для атмосфери [68;191].

Колообіг сполук вуглецю розглядається як система блоків (компонентів екосистеми), поєднаних потоками речовини (обмінними процесами) [170].

В досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини в основних компонентах лісових екосистем визначено запаси вуглецю в фітомасі, фітодетриті, гумусі ґрунту та потоки внаслідок мінералізації органічної речовини, міграції вуглецю з підстилки та верхніх ґрунтових горизонтів, а також фотосинтетичну асиміляцію фітомасою досліджуваних екосистем (NPP), що дозволило побудувати схему балансу вуглецю (рис.7.1). Баланс фітодетриту визначали як:

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

Де  $\Delta D$  – 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:

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

Встановлено, в екосистемі 30-ти річного ялицево-букового ялиника 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 вуглецю, що переходить



з блоку “фітомаса” до блоку “грунт” характеризує величину опаду і відпаду, його величина протягом року становить 2,44 і 0,72 т·С·га<sup>-1</sup> відповідно.

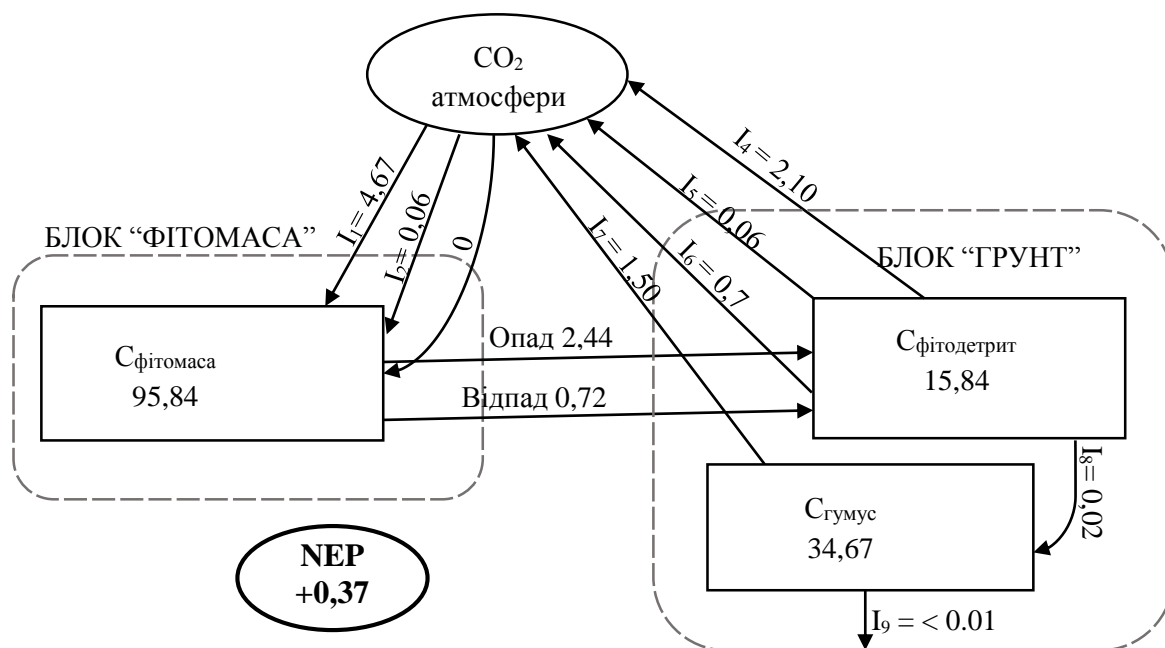


Рис.7.1. Баланс вуглецю в лісовій екосистемі 30-ти річного ялицево-букового ялинника т·С·га<sup>-1</sup>·рік<sup>-1</sup>

$NPP = I_1 + I_2 + I_3$ ;  $I_1$  –  $NPP$  деревного ярусу;  $I_2$  –  $NPP$  підросту;  $I_3$  –  $NPP$  трав'яно-чагарничкового ярусу;  $Resp = I_4 + I_5 + I_6 + I_7$ ;  $I_4$  –  $Resp$  підстилки;  $I_5$  –  $Resp$  CWD;  $I_6$  –  $Resp$  кореневого детриту;  $I_7$  –  $Resp$  ґрунтового гумусу;  $I_8$  – вимивання вуглецю з підстилки;  $I_9$  – вимивання вуглецю з 0-20см ґрунту;

Із загальних запасів фітодетриту (15,84 т·С·га<sup>-1</sup>) протягом року вивільняється 2,87 т·С·га<sup>-1</sup> (рис.7.1) 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 С-СО<sub>2</sub> в процесі мінералізації гумусових сполук становить 1,5 т·С·га<sup>-1</sup>. Загалом сумарний мінералізаційний потік екосистеми ( $Resp$ ) становить 4,36 т·С·СО<sub>2</sub>·га<sup>-1</sup>, а в процесі фотосинтезу фіксується 4,72 т·С·га<sup>-1</sup>, тобто екосистема 30-ти річного ялицево-букового ялинника є стоком для 0,37 т·С·СО<sub>2</sub>·га<sup>-1</sup> атмосфери, що становить 9% від приросту фітомаси екосистеми.

Екосистема 45-ти річного букового ялинника порівняно із попередньою екосистемою характеризується як більшими запасами вуглецю у блоках, так і інтенсивнішими його потоками (рис.7.2). В блоці ”фітомаса” пул вуглецю становить 105,81 т·С·га<sup>-1</sup>, внаслідок фотосинтетичної асиміляції протягом року в ньому накопичується 5,95 т·С·га<sup>-1</sup> з якого деревний ярус - 92%, трав'яно-чагарничковий ярус - 7,2%. Частка фітодетриту, яка надходить протягом року в

грунтовий блок становить  $4,3 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$ , протягом року величина зменшення його запасів внаслідок мінералізації і вимивання становить  $3,94 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$ . Отже протягом року фітодетрит екосистеми збільшується на  $1,0\%$  від його загальних запасів. Мінералізація вуглецю гумусових сполук призвела до потоку  $\text{С}\text{-CO}_2$  в кількості  $2,3 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$ , що разом із мінералізацією фітодетриту формує потік вуглецю, який перевищує  $\text{NPP}$  на  $0,25 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$ . Однією із причин від'ємної  $\text{NEP}$  є великі запаси  $\text{CWD}$ , котрі в процесі мінералізації продукують додатково  $1,1 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$

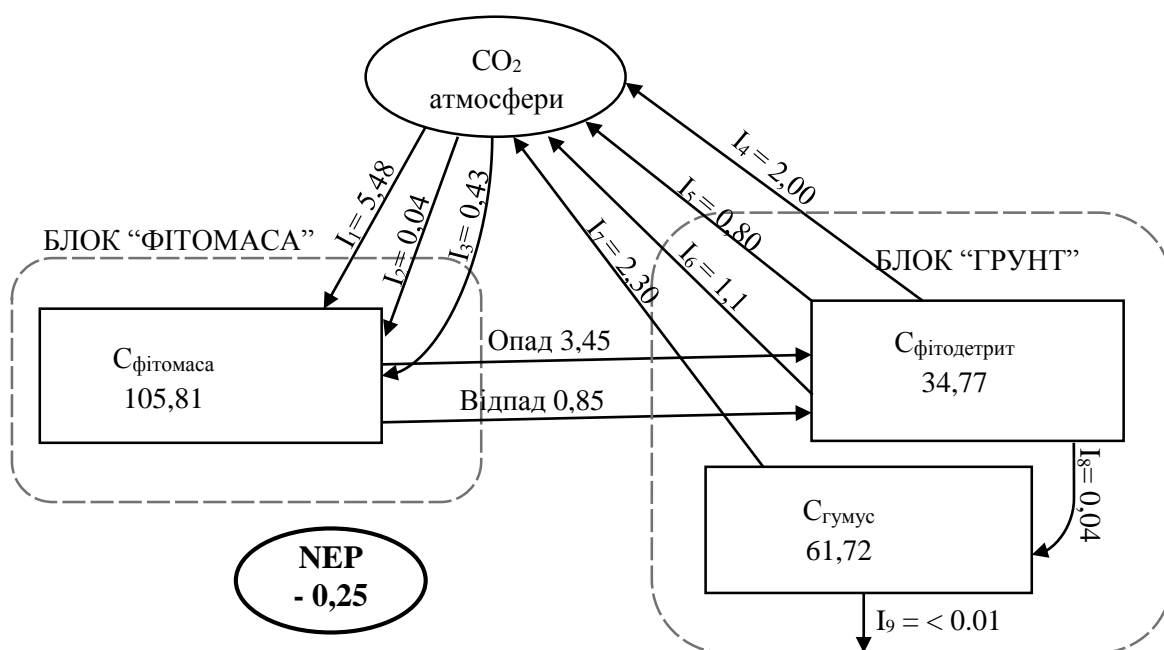


Рис.7.2 Баланс вуглецю в лісовій екосистемі 45-ти річного букового ялинника  $\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$  (умовні назви на рис. 7.1)

Інше співвідношення запасів і продукційно-деструкційних процесів виявлене в екосистемі 50-ти річного буково-дубового ялинника (рис. 7.3). За загальної фітомаси  $115,87 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$  величина  $\text{NPP}$  становить  $6,29 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$ , 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  $4,96 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$ , а кількість його втрат в наслідок мінералізації сягає  $3,49 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$  в результаті цього протягом року накопичується  $9,8\%$  від його загального запасу, основною причиною такого зростання, є значна кількість опадів дуба, та його уповільнені процеси біодеструкції. З врахуванням мінералізації гумусових сполук ґрунту ( $2,1 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$ ) сумарний річний мінералізаційний потік формує

5,56 т·С·га<sup>-1</sup>·рік<sup>-1</sup>. Отже, 50-ти річний буково-дубовий ялинник функціонує, як стік вуглецю з атмосфери. Чиста екосистемна продукція серед досліджуваних екосистем є найбільшою - 0,72 т·С·CO<sub>2</sub>·га<sup>-1</sup>, що еквівалентно 12% від NPP. Це насамперед пов'язано з уповільненими процесами розкладу підстилки.

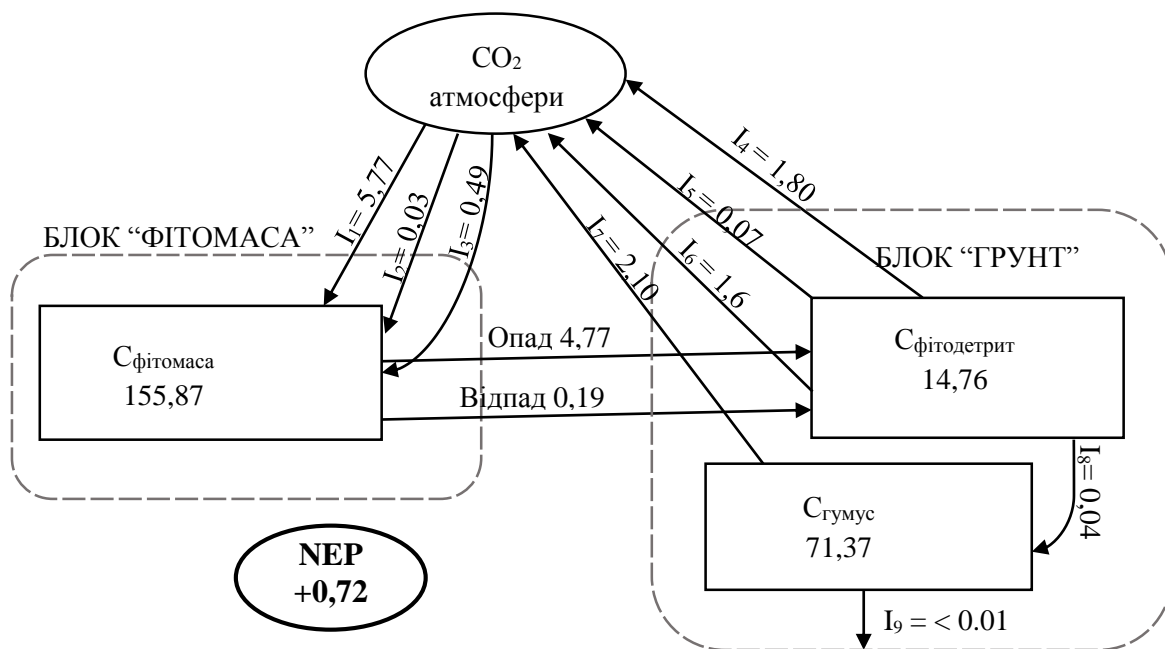


Рис.7.3 Баланс вуглецю в лісовій екосистемі 50-ти річного буково-дубового ялинника т·С·га<sup>-1</sup>·рік<sup>-1</sup> (умовні назви на рис. 7.1)

Найбільшою інтенсивністю та збалансованістю процесів, що формують NPP і Resp характеризується екосистема 70-ти річного ялицевого-ялинника (рис.7.4). Запас фітомаси становить 137,04 т·С·га<sup>-1</sup> нею протягом року асимілюється 7,12 т·С·га<sup>-1</sup>·рік<sup>-1</sup>, з якого на деревостан припадає 89% на підріст і трав'яно-чагарничковий ярус відповідно 2,8; 8,2%. Величина опаду та відпаду яка формується протягом року становить 3,69 т·С·га<sup>-1</sup>, протягом року кількість фітодетриту, що мінералізується і вимивається з шару підстилки становить 4,34 т·С·га<sup>-1</sup>·рік<sup>-1</sup>, 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<sup>-1</sup>·рік<sup>-1</sup>, що разом із мінералізацією фітодетриту утворює потік Resp = 6,95 т·С·га<sup>-1</sup>·рік<sup>-1</sup>. Отже, екосистема 70-ти річного ялицевого-ялинника накопичує 0,17 т·С·га<sup>-1</sup>·рік<sup>-1</sup> вуглецю протягом року.

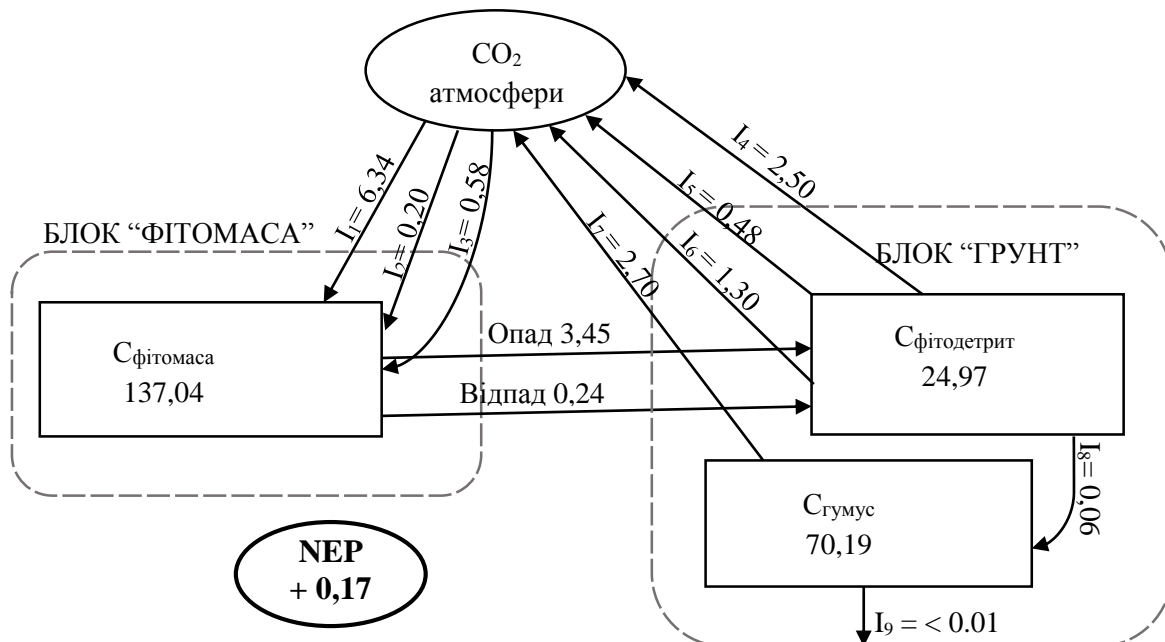


Рис.7.4. Баланс вуглецю в лісовій екосистемі 70-ти річного ялицевого-ялиничка  $\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$  (умовні назви на рис. 7.1)

У 110-ти річному буково-ялиновому яличнику величина NPP відповідає  $5,44 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}$  (рис.7.5), деревний ярус асимілює 86,8 %, підріст і трав'яно-чагарничковий ярус відповідно 3,3; 9,9 %. Величина  $\text{Resp} = 5.68 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}$ , основна частина потоку  $\text{C}\text{-CO}_2$  припадає на ґрунт 38,7% і підстилку 29,9%, ґрунтовим фітодетритом і CWD продукується відповідно 19,4; 12%. В результаті меншої величини NPP від  $\text{Resp}$  величина чистої екосистемної продукції становить  $-0,24 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}$ , 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.

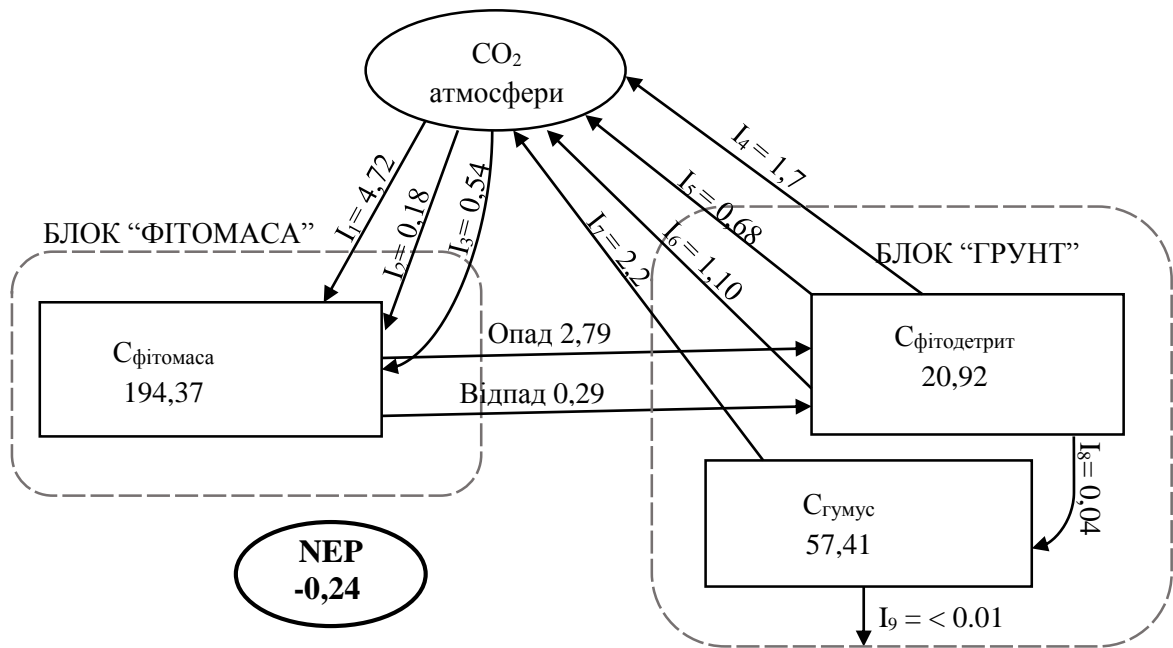


Рис.7.5. Баланс вуглецю в лісовій екосистемі 110-ти річного буково-ялинового яличника  $\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$  (умовні назви на рис. 7.1)

\*\*\*

Отже, досліджувані екосистеми на сучасному етапі функціонування характеризуються збалансованістю процесів  $\text{NPP}$  і  $\text{Resp}$ , про що свідчать незначні величини  $\text{NEP}$ . Із збільшенням віку деревостанів частка  $\text{NPP}$  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  $\text{NPP}$  нижніх ярусів. Також у всіх екосистемах збалансованим є процеси, що формують запас фітодетриту. Винятком є екосистема 50-ти річного буково-дубового ялинника. Величина вуглецю перколяційних вод, що виносяться за межі 20 см шару ґрунту є незначною  $< 0,01 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$ .

## Висновки

На підставі польових та лабораторних досліджень встановлено основні параметри циклу вуглецю в найбільш репрезентативних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати), зокрема його запаси в різних блоках екосистем та інтенсивність обмінних потоків між ними.

1. Загальні запаси живої надземної та підземної фракцій фітомаси у лісових екосистемах становлять 210,2 - 384,3 т·га<sup>-1</sup>. Основна частина фітомаси (до 99%) формується деревним ярусом, з якого на стовбури припадає 59-74%. Запаси асиміляційних органів становлять 10,47 - 16,22 т·га<sup>-1</sup>, а зі збільшенням віку деревного ярусу їх частка зменшується від 6 до 3%. Запаси фітомаси нижніх ярусів характеризуються значною варіабельністю, оскільки залежать від зімкнутості деревного ярусу та наявності “вікон”. Фітомаса підросту становить 0,93-4,65 т·га<sup>-1</sup>, трав'яно-чагарничкового ярусу – 0-1,94 т·га<sup>-1</sup>, тоді як мохового ярусу – лише 0,04-0,28 т·га<sup>-1</sup>. Встановлено, що в схожих едафо-кліматичних умовах запаси живої фітомаси автотрофного блоку лісових екосистем істотно відрізняються та залежать від породного складу та віку деревостану й детерміновані веденням лісового господарства, зокрема формуванням похідних насаджень із залученням високопродуктивних інтродуцентів.

2. Маса надґрунтового та ґрунтового фітодетриту становить 32,33-72,62 т·га<sup>-1</sup>. Загалом, співвідношення запасів його компонентів має вигляд: CWD > підстилка > кореневий детрит. У загальній масі фітодетриту переважає його акумуляція на поверхні ґрунту, а різниця в його запасах зумовлена породним складом деревного ярусу лісових екосистем, а саме наявністю в його складі ялини європейської, яка на території досліджень є найменш стійкою до вітровалів, що сприяє збільшенню запасів фітодетриту.

3. Загальний запас вуглецю становить 144,7-271,7 т·С·га<sup>-1</sup>. Фітомаса є основним резервуаром накопичення вуглецю в досліджених екосистемах, на частку якої припадає від 52,3 до 71,3% від загального запасу вуглецю. Зі збільшенням віку деревостану зростає загальний запас С. Розподіл С між основними блоками лісових екосистем має вигляд  $C_{\text{ФІТОМАСА}} > C_{\text{ГУМУС}} >$

С<sub>ФІТОДЕТРИТ</sub>. Частка запасу С<sub>ГУМУС</sub> в 50 см шарі ґрунту від загального вуглецю екосистеми становить 23,7-30,5%. Найменші показники запасів С<sub>ГУМУС</sub> виявлені в ялицево-букового ялиннику, що зумовлене незначною потужністю гумусового горизонту (5,5-6,0 см) та низьким вмістом вуглецю гумусових сполук. На частку рухомого вуглецю гумусових сполук в досліджених екосистемах припадає від 1,2 до 2,7 %.

4. Чиста первинна продукція в досліджених лісових екосистемах становить 4,73-7,12 т·С·га<sup>-1</sup>·за рік. Значна її частина (87-99%) формується деревостаном, частка NPP нижніх ярусів (підріст, підлісок, надґрунтовий покрив) залежить від зімкнутості верхнього ярусу, кількості підросту та підліску, а також пов'язана зі змінами, що відбуваються в деревостанах у процесі їх росту.

5. Інтенсивність гетеротрофного дихання ґрунтів і підстилок у лісових екосистемах змінюється від 4,36 до 6,98 т·С·СО<sub>2</sub>·га<sup>-1</sup>·за рік, частка мінералізаційного потоку внаслідок розкладу фітодетриту становить 34-50%, в якій емісія СО<sub>2</sub> з лісової підстилки – 71-97%. Інтенсивність вивільнення СО<sub>2</sub> з поверхні CWD залежить від ступеня його розкладу та становить від 0,71 до 17,28 мг·С·СО<sub>2</sub>·кг·год<sup>-1</sup>.

Величина мінералізації вуглецю гумусових сполук залежить від кількості рухомого вуглецю у ґрунті ( коефіцієнт лінійної кореляції між Resp і С<sub>РОР</sub> – 0,91).

6. У досліджених лісових екосистемах спостерігається збалансованість потоків органічної речовини, що формують запас фітодетриту, про що свідчить частка річної зміни його запасів від загальних запасів вуглецю від 0,97-4,19%.

7. Аналіз співвідношення асиміляційно-мінералізаційних процесів показав, що екосистеми досліджуваної території функціонують як “стік” атмосферного вуглецю та як джерело його емісії. Однак, величина NEP є незначною від -0,25 до +0,72 т·С·га<sup>-1</sup>·рік<sup>-1</sup>, що, за умов коливання погодних умов у різні роки, забезпечує збалансованість процесів NPP і Resp, тобто відносну “замкненість” циклу вуглецю в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини.

8. Отримані результати можуть бути використані в секторі лісового господарства для встановлення ролі лісових екосистем щодо пом'якшення змін

клімату за рахунок депонування вуглецю у резервуарах стовбурової деревини, підстилки та ґрунту, а також для параметризації математичних моделей вуглецевого балансу гірських територій.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. - Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1980. - 288 с.
2. Алексеев В.А. Закономерности распределения и фракционный состав наземной биомассы / В.А. Алексеев, К.Ф. Старостина, Л.Н. Ющенкова. // Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л.: Изд-во наука Изд-во, Ленингр. отд., -1973. - С. 102-109.
3. Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв / Н.Д. Ананьева; Отв. ред. Д.Г. Звягинцев. — М.: Наука, 2003.-323 с.
4. Андрианов М. С. Клімат // Природа Українських Карпат. – Львів: Вид-во Львів. Ун-ту, 1968. – С. 87 – 101.
5. Андрущенко Г.А. Почвообразовательный процесс и условия поднятия плодородия почв на полонинах Советских Карпат. В кн.: Научные записки. Львов: изд-во ЛГУ, 1954, т. IV. - С. 177-194.
6. Аристовская Т. В. Микробиология процессов почвообразования / Т.В. Аристовская. - Л.: Наука. - 1980. - 187 с.
7. Багаутдинов Ф.Я. Обновление компонентов гумуса серой лесной почвы и черназема типичного при длительной гумификации меченных по углероду растительных остатков / Ф.Я. Багаутдинов // Почвоведение. - 1994. - №2. - С. 50-56.
8. Базилевич, Л.Е. Родин. // Биологическая продуктивность и круговорот элементов в растительных сообществах. - Л. -1971. - С. 5-32.
9. Базилевич Н.И. Продуктивность, биогеохимия современной биосферы и функциональные модели экосистем / Н.И. Базилевич // Почвоведение. - 1979. -№2. - С. 5-21.
10. Безкоровайная И.Н. Эспериментальное изучение роли дождевых червей в минерализации подстилки / И.Н. Безкоровайная // Экология. - 1994. -№5.-С.- 67-73.

11. Биенковский П., Титлянова А. А., Шибарева С. В. Трансформационные процессы в подстилке бореальных лесов // Сиб. экол. журн. 2003. Т. 10. № 6. - С. 707–713.
12. Биогеоценотический покров Бескид и его динамические тенденции / М. А. Голубец, Д. В. Борсук, М. В. Гаврилюк и др. – К.: Наук. думка, 1983. – 240 с.
13. Благодатский С. А. Вклад дыхания корней в эмиссию CO<sub>2</sub> из почвы. / С.А. Благодатский, А.А. Ларионова, И.В. Евдокимов // Дыхание почвы. - Пушино.:, 1993. - С. 26-32.
14. Благодатский С.А., Благодатская Е.В., Горбенко А.Ю., Паников Н.С. Регидратационный метод определения биомассы микроорганизмов в почве // Почвоведение. – 1987. - №7. – С. 64-71.
15. Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойны лесов Европейского северо-востока / К.С. Бобкова. - Наука. Л., 1987. - 156 с.
16. Бобкова К.С. Биопродукционный процесс в лесных экосистемах Севера / К.С. Бобкова, В.В. Тужилкина. - СПб.: Наука, 2001. - 279 с.
17. Бобкова К.С. Круговорот азота и зольных элементов в сосново-еловом насаждении средней тайги / К.С. Бобкова, Н.Л. Смоленцева, В.В. Тужилкина, В.А. Артёмов // Лесоведение. -1982. - № 5. - С. 3 -11.
18. Богатырев Л.Г. Образование подстилок - один из важнейших процессов в лесных экосистемах / Л.Г. Богатырев // Почвоведение. - 1996. -№4.-С. 501-511.
19. Богатырев Л.Г. Лесные подстилки и диагностика современной направленности гумусообразования в различных географических зонах / Л. Г. Богатырев, И.А. Свентицкий, Р.Н. Шарафундинов, А.А. Степанов // Почвоведение. -1998. - № 7. - С. 864 - 875.
20. Борсук Д. В. Первичная биотическая продуктивность и структура буковых лесов Бескид: Автореф. дис... канд. биол. наук:— Львов., 1984. — 23 с.
21. Букша І.Ф., Пастернак В.П. Інвентаризація та моніторинг парникових газів у лісовому господарстві. – Харків: вид-во ХНАУ, 2005. – 125 с.
22. Бурыкин, А.М. Некоторые закономерности гумусонакопления и гумусообразования в молодых почвах техногенных экосистем / А.М.

- Бурыкин, Э.В. Засорина // Тез. докл. VIII Всесоюзн. Съезда почвоведов. Новосибирск, 1989. - Т. 1. - С. 184- 185.
23. Ванин СИ. Гниль дерева, ее причины и меры борьбы / СИ. Ванин. - М.: Сельхозгиз, 1930. -166 с.
24. Ванинская Ю.М. Анатомическое строение и физико-механические свойства древесины, пораженной дереворазрушающими грибами / Ю.М. Ванинская. - Минск, 1966. - 156 с.
25. Василишин Р. Д. Продуктивність та надземна фітомаса лісостанів ялиці білої в Українських Карпатах : Автореф. дис... канд. с.-г. наук:— К., 2007. — 23 с.
26. Василишин Р.Д., Лакида П.І. Аналіз продуктивності ялицевих деревостанів Українських Карпат // Наук. вісн. НАУ. – К., 2005. – Вип. 83. – С. 282-287.
27. Василишин Р.Д. Динаміка біопродуктивності повних ялицевих насаджень Українських Карпат / Р.Д. Василишин // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.8. – С. 23-27.
28. Ведрова Э.Ф. Влияние сосновых насаждений на свойствах почв / Э. Ф. Ведрова. - Новосибирск: Наука, 1980. -104 с.
29. Ведрова Э.Ф. Миграция водорастворимых продуктов в почвах сосновых лесов / Э.Ф. Ведрова, В.М. Корсунов // Почвы сосновых лесов Сибири. - Красноярск. - 1986. - С. 24-33.
30. Ведрова Э.Ф. Разложение органического вещества лесных подстилок/ Э.Ф. Ведрова // Почвоведение. -1997. - №2. - С 216 - 223.
31. Ведрова Э.Ф. Интенсивность продуцирования углекислого газа при разложении лесных подстилок / Э.Ф. Ведрова, Т.Н. Миндеева // Лесоведение.-1998.-№1.- С. 30-41.
32. Ведрова Э.Ф. Трансформация растительных остатков в 25-летних культурах основных лесобразующих пород Сибири / Э.Ф. Ведрова // Лесоведение. - 1995. - №4. - С. 13-21.
33. Ведрова Э. Ф. Деструкционные процессы в углеродном цикле лесных экосистем енисейского меридиана / Э. Ф. Ведрова. – Автореферат дис. ... д-

- ра биологических наук: 03.00.16 (Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН). – Красноярск, 2005. – 60 с.
34. Ведрова Э.Ф. Круговорот углерода в молодняке основных лесообразующих пород Сибири / Э.Ф. Ведрова, Л.В. Спиридонова, В.Д. Стакано // Лесоведение. - 2006. - №3. - С. 40-48.
  35. Ведрова Э.Ф. Структура органических веществ северо-таежных экосистем Средней Сибири / Э.Ф. Ведрова, Ф.И. Плешиков, В.Я. Каплуно // Лесоведение. - 2002. - С. 3-1.
  36. Ведрова Э.Ф. Органическое вещество почв лиственничников северной тайги / Э.Ф. Ведрова [и др.] // Почвоведение. - 2002. - №8. - С. 967-974.
  37. Верхунов П.М. Закономерности строения разновозрастных сосняков / П.М. Верхунов. — Новосибирск: Наука, 1976. — 255 с.
  38. Выгодская Н.Н., Милюкова И. М. CO<sub>2</sub> ассимиляция хвойных лесов как компонент газообмена углекислым газом подстилающей поверхности с атмосферой // Вестник Московского университета. 1995. № 1. Сер. 5. - С. 36
  39. Вишенська І.Г. Роль компонентів лісових екосистем в акумуляції вуглецю як фактора підтримки їх стабільності до зовнішніх чинників. Наукові записки. Том 158, Біологія та екологія / Національний університет "Києво-Могилянська академія". 2014. - С. 61-65
  40. Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М. Возрастная динамика фитомассы и биологического круговорота веществ. В кн.: Обиен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л., 1977,- С. 287-293.
  41. Володимиренко В. М. Динаміка продуктивності ялинових деревостанів Львівської області // Наукові доповіді НАУ, 2008. - №12. – С. 12-19.
  42. Володимиренко В. М. Особливості росту та прогноз продуктивності штучних модальних ялинових деревостанів Українських Карпат : Автореф. дис... канд. с.-г. наук / В. М. Володимиренко; Нац. аграр. ун-т. - К., 2006. – 19 с .
  43. Гиляров М.С., Криволуцкий Д.А. Жизнь в почве. Москва: Молодая гвардия, 1985. Эврика. – 191 с.

44. Глазовской М.А. Роль и функции педосферы в геохимических циклах углерода / М.А. Глазовской // Почвоведение. - 1996. - №2. - С. 174-186.
45. Глобальная оценка лесных ресурсов 2010 года. Документ ФАО по лесному хозяйству. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН. Рим 2011. – 371 с.
46. Гололобов А. Д. Регуляция обмена веществ у микроорганизмов при фиксации углекислоты / А. Д. Гололобов // Укр. биохимический журнал. – 1980. – № 52(2). – 155 с.
47. Голубец М.А. Ельники украинских Карпат // Киев: Наукова думка, 1978. — 90 с.
48. Голубець М.А., Половников Л.І. Загальні закономірності нагромадження фітомаси в смерекових Лісах. В кн.: Біологічна продуктивність смерекових лісів Карпат. Київ, 1975.- С. 4-68.
49. Голубец М.А. Геоботаническое районирование Украинских Карпат / М.А. Голубец, К.А. Малиновский, С.М. Стойко. – Львов : Изд-во Львов. ун-та, 1965. – С. 10-13.
50. Горбачёва Т.Т. Органический углерод в водах подзолов ельников зеленомошных Кольского полуострова / Т.Т. Горбачёва, Н.В. Лукина // Лесоведение. - 2004. - №4. - С. 42 - 50.
51. Горін М. О. Заплавне ґрунтотворення полісся та лісостепу України (еволюція, біогеохімія, окультурювання) / М. О. Горін. – Автореф. дис. ... д-ра біол. наук : 03.00.18 (Нац. наук. центр ін-ту ґрунтознав. та агрохімії ім. О. Н. Соколовського). — Х., 2002. — 42 с.
52. Грабович М. Ю. Участие прокариот в круговороте серы / М. Ю. Грабович // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 12. – С. 21.
53. Гришина Л.А. Гумусообразование и гумусное состояние почв / Л.А. Гришина. - М: Изд-во МГУ. -1986. - 242 с.
54. Дигрессия биологического покрова на контакте лесного и субальпийского поясов в Черногоре ; под ред. К. А.Малиновского. - Київ : Наук. думка, 1984. – 205с.

55. Добровольский Г.В. Углерод в почвах и ландшафтах северной Евразии / Г.В. Добровольский, С.Я. Трофимов, С.Н. Седов // Круговорот углерода на территории России. - М: - 1999. - С. 233-270.
56. Домашовець, Г. С. Зональна біопродуктивність лісів Львівщини та її динаміка: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук.; Національний аграрний університет. - К., 2008. - 20 с.
57. ДСТУ 4731:2007. Якість ґрунту. Методи визначання водорозчинних органічних речовин. - 9 с.
58. Дюканов В.Г. Механізми Кіотського протоколу: досвід та перспективи для України / Дюканов В.Г. Дюканова О.В. – К.: Фенікс, 2006. – 160 с.
59. Екологія Львівщини 2011. – Львів: ЗУКЦ, 2012. – 126 с.
60. Ершов Ю.И. Органическое вещество биосферы и почвы / Ю.И. Ершов; отв. ред. В.М. Корсунов. - Новосибирск : Наука, 2004. - 104 с.
61. Жуланова В. Н. агроэкологическая оценка почв тувы автореф. дис. ... док. биол. наук.; Тувинский государственный университе. - Москва., 2013. - 20 с.
62. Заварзин Г. А. Лекции по природоведческой микробиологии / Г. А. Заварзин; отв. ред. Н. Н. Колотилова. – М. : Наука, 2003. – 348 с.
63. Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник РАН. 2006. Т. 76. № 1.- С. 14-29.
64. Замолотчиков Д.Г. Послепожарные изменения углеродного цикла в южных тундрах / Д.Г. Замолотчиков, Д.В. Карелин, А.И. Иващенко // Экология. - 1998. - №4. - С. 272-276.
65. Звягинцев Д. Г. Биология почв : учеб. / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. — 3-е изд., испр. и доп. — М. : Изд-во МГУ, 2005. — 445 с.
66. Золотокрылин А.Н. Связь вертикальной дифференциации микроклиматических условий со стратификацией фитомассы лесных биогеоценозов / А.Н. Золотокрылин, Л.М. Носова // Лесоведение. - 1974. - №4. - С. 24-31.
67. Иванникова Л.А. Метод измерения потока CO<sub>2</sub> из почвы в естественных условиях // Почвоведение. – 1992. - №4. – С. 101-106.

68. Исаев А.С. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России (Аналитический обзор) / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, В.И. Сухих, С.П. Титов, А.И. Уткин, А.А. Голуб Д.Г. Замолодчиков, А.А. Пряжников - М, 1995. - 156 с.
69. Исаев А.С., Коровин Г.Н. Углерод в лесах Северной Евразии // Круговорот углерода на территории России / Под ред. Н.П. Лаверова и Г.А. Заварзина. М.: 1999. - С. 63-95.
70. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И. и др. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. № 5.- С. 3-10.
71. Исаев А. С Депонирование углерода в лесах России / А.С Исаев, Г.Н. Коровин // Углерод в биогеоценозах. VХ чтения памяти академика В.Н. Сукачёва. - М. -1997. - С. 59-98.
72. Исаева Л.Н. Влажность и плотность древесины основных лесообразующих пород Сибири: автореф. диссер канд. с.-х. наук: 03.00.16 / Л.Н. Исаева. - Красноярск, 1970. - 31с.
73. Іутинська Г. О. Ґрунтова мікробіологія : навч. посіб. / Г. О. Іутинська. — К. : Арістей, 2006. — 284 с.
74. Казимиров Н.И. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского севера / Н.И. Казимиров, А.Д. Волков, С.С. Зябченко, А.А. Иванчиков, Р.М. Морозова. - Л.: Наука, 1977. - 304 с.
75. Кайбияйнен Л.К. Фотосинтетическая фиксация CO<sub>2</sub> и биомасса лесных ценозов. К методике оценки стока CO<sub>2</sub> / Л.К. Кайбияйнен, В.К. Блондинский // Физиология растений. -1995. Т. 42. -№1. - С. 138-143.
76. Кайбияйнен Л.К. Баланс углекислого газа в средневозрастном сосняке черничном / Л.К. Кайбияйнен, Е.Е. Ялынская, Г. И. Софронова // Экология. - 1999. - №4. - С. 271-275.
77. Каменецкая И.В. Первичная биологическая продуктивность молодняков сосны двух типов леса южной тайги / И.В. Каменецкая // Лесоведение 1971. - №3. - С. 28 – 39.

78. Карпачевский Л.О., Киселева Н.К. О методике учета опада и подстилки в смешанных лесах – Лесоведение, №3, 1968,.- с. 335-341.
79. Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы / Л.О. Карпачевский. - М.: Лесная промышленность, 1981. - 264 с.
80. Карпачевський Л. О. Динаміка властивостей ґрунту / Л. О. Карпачевський – М. : ГЕОС, 1997. – 170 с.
81. Карпачевский Л. О. Экологическое почвоведение / Л. О. Карпачевский. – М. : Геос, 2005. – 335 с.
82. Карпов В.Т. Экспериментальная фитоценология темнохвойной тайги / В.Г. Карпов. - Л.: Изд-во Наука, Ленингр. отд. -1969. - 336 с.
83. Кауричев И.С. Роль компонентов водорастворимого органического вещества растительных остатков в образовании подвижных железисто-органических соединений / И.С. Кауричев, Е.М. Ноздрунова // Почвоведение. - №10. 1961. -. - С. 10-18.
84. Кауричев И.С. О миграции и качественном составе водорастворимого органического вещества в почвах лесолуговой зоны / И.С. Кауричев, Е.М. Ноздрунова // Известия ТСХА. - Вып. 5 (48). 1962. - С. 91 -106.
85. Кауричев И.С. Условия образования и масштабы миграции органо-минеральных соединений в почвах таёжной зоны / И.С. Кауричев, Е.М. Ноздрунова // Известия ТСХА. - Вып. 3. 1969. - С. 103 -110.
86. Кауричев И.С. Особенности мобилизации и трансформации водорастворяющих органических веществ в подзолистых почвах Архангельской области / И.С. Кауричев, И.М. Яшин, А.И. Карпухин, И.Г. Платонов // Известия ТСХА. - 1991. - Вып. 3. - С. 71 – 84.
87. Кауричев И.С. Опыт применения метода сорбционных лизиметров при изучении водной миграции веществ в подзолистых почвах Европейского Севера / И.С. Кауричев, И.М. Яшин, А.Д. Кашанский, В.С. Кащенко // Почвоведение. -1986.-№8.-С. 29-41.
88. Кауричев И.С. Образование водорастворимых органических веществ в почвах как стадия превращения растительных остатков / И.С. Кауричев, И.М. Яшин // Известия ТСХА. - 1989. - Вып. 1. - С. 47 - 57.



89. Кауричев И.С. О содержании низкомолекулярных органических кислот в хвое и листьях некоторых древесных пород / И.С. Кауричев, Т.Н. Иванова, Е.М. Ноздрунова // Доклады ТСХА. Вып. 94. - 1963. - С. 311 - 316.
90. Качинский, Н.А. Физика почв / Н.А. Качинский. М.: Высшая школа, 1970. 340 с.
91. Климченко А. В. Аккумуляция углерода в валежнике лиственничников северной тайги Средней Сибири //Лесн. хоз-во. - № 5. 2005. - С. 33–34.
92. Кобак К.И. Биотические компоненты углеродного цикла / К.И. Кобак. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. - 248 с.
93. Кобак К.И. Скорость оборота органического углерода в почвах разных типов / К.И. Кобак, Н.Ю. Кондрашина // Второе всесоюзное совещание по геохимии углерода: Тез. докл. - М.: - 1986. - С.230-232.
94. Кобак К.И. Роль лесов в изменении содержания углерода в атмосфере (на примере Ленинградской области) / К.И. Кобак, Ю.А. Кукуев, Р.Ф. Трейфельд // Лесное хозяйство. - 1999. - №2. - С.43-45.
95. Ковда В.А. Модель трансформации органического вещества в почве для количественного изучения функции почвы в экосистемах / В.А. Ковда [и др.] // Докл. АН СССР. - 1972. - Т. 132. - №3. - С. 759-762.
96. Когут Б.М. Состав и свойства гуминовых кислот различных вытяжек и фракций типичного чернозёма. / Б.М. Когут, К.В. Дьяконова, Л.С. Травникова // Почвоведение. - 1987. - №7. - С. 38-45.
97. Когут Б.М. Элементарный состав лабильных гуминовых кислот чернозёмов / Б.М. Когут, Н.П. Масютенко // Почвоведение. - 1992. - №1. - С. 91-94.
98. Колодко М. М., Ніколаєва Н. В. Кліматичні карти. Масштаб 1:2500000 // Львівська область. Атлас. – М.: Гол. управл. Геодезії і картографії при раді Міністрів СРСР, 1989. – С. 12.
99. Колосок О. М. Первинна-нетто продукція надземної частини дерев смереки та депонований у ній вуглець // Науковий вісник НАУ. – 2000. – Вип. 29. – С. 280 – 284.

100. Колосок О. М. Продуктивність і структура фітомаси штучних лісостанів ялини звичайної в Українських карпатах. – Автореф. дис.. канд. с-г. наук. – Київ, 2002. – 23 с.
101. Комиссарова И.Ф. Выделение CO<sub>2</sub> из почв лесных биогеоценозов Восточного Сихотэ-Алиня / И.Ф. Комиссарова // Почвоведение. - 1986. - №5. - С. 100-108.
102. Кондратьев К.Я. Баланс углерода в мире и в России / К.Я. Кондратьев, Лосев К.С., Ананичева М.Д., Чеснокова И.В. // Изв. РАН . Сер . географ. - 2002. - 24. - С . 7-17.
103. Кондратьев К.Я. Глобальный круговорот углерода: состояние, проблемы и перспективы / К.Я. Кондратьев, В.Ф. Крапивин // Исследование Земли из космоса. - 2004. - N 3. - С. 12-21.
104. Кондратьев К.Я. Моделирование глобального круговорота углерода / К.Я. Кондратьев, В.Ф. Крапивин . - М.: ФИЗМАТЛИТ , 2004. -336 с.
105. Кононова М.М. Органическое вещество почвы. Его природа, свойства и методы изучения / М.М. Кононова. - М.: - АН СССР. - 1966. -314 с.
106. Концептуальні засади сталого розвитку гірського регіону. Редакція - Голубець М.А. – Львів: Поллі, 2007. – 288 с.
107. Кошуринок Н.Н. Бюджет углерода в темнохвойных лесах южной тайги: автореф. дис.канд.биол.наук: 03.00.16 / Кошуринок Наталья Николаевна. - Красноярск, 2006. - 17 с.
108. Крок Б. А. Радиационный и тепловой режимы // Биогеоценологический покров Бескид и его динамические тенденции. – К. : Наук. думка, 1983. – С. 104–126.
109. Кудеяров В.Н. Выделение углекислого газа почвенным покровом России. / В.Н. Кудеяров // Природа. -1994. - № 7. - С. 37-43.
110. Кудеяров В.Н. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / В.Н. Кудеяров, Г.А. Заварзин, С. А. Благодатский и др. – М.: Наука, 2007. – 315 с.
111. Кузиков И.Е. Изменение фитомассы в пихтарниках зеленомошных типов леса в различных климатических условиях Средней Сибири: автореф. Дис.канд. С-х наук / Игоря Евгеньевича Кузикова. -Красноярск. 1979. - 24 с.
112. Кузьмичёв В.В. Закономерности роста древостоев / В.В. Кузьмичёв. - Новосибирск: Наука, 1977. -160 с.

113. Кулагина М.А. Биологическая продуктивность сосняков и круговорот макроэлементов / М.А. Кулагина // Продуктивность сосновых лесов. - М.: Наука, 1978.- С. 90-178.
114. Лакида П.І. Фітомаса лісів України. Монографія. – Тернопіль: Збруч, 2001. – 256 с.
115. Лакида П.І., Володимиренко В.М. Штучні ялинові деревостани Українських Карпат – прогноз росту та продуктивності. Монографія. – К.: ННЦ ІАЕ, 2008. – 158 с.
116. Лакида П.І. Біопродуктивність лісів Львівщини та її динаміка: монографія / П. І. Лакида, Г. С. Домашовець. - К. : ФОП Майданченко І.С., 2009. - 235 с
117. Лакида П.І. Надземна фітомаса та вуглецево-енергетичний потенціал ялицевих деревостанів Українських Карпат: монографія / П. І. Лакида, Р. Д. Васишин, О. М. Васишин. - Корсунь-Шевченківський : Гаврищенко В. М. [вид.], 2010. - 239 с.
118. Лакида П.І. Нормативна оцінка компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України / П.І. Лакида, Р.Д. Васишин, А.Г. Лащенко, А.Ю. Терентьев. – К. : Вид. дім "Еко-інформ", 2011. – 192 с.
119. Ларионова А.А. Дыхание корней и его вклад в эмиссию / А.А. Ларионова, И.В. Евдокимов, И.Н. Курганова, Д.В. Сапронов, Л.Г. Кузнецова, В.О. Лопес де Гереню // Почвоведение. - 2003. - №2. - С. 183 -194.
120. Ларионова А.А., Розанова Л.Н. Суточная, сезонная и годовая динамика выделения CO<sub>2</sub> из почвы // Дыхание почвы. – Пушино: НЦБИ РАН, 1993. – С.59-68.
121. Ліпінський В. М., Палієнко В. П., Руденко Л. Г. Проблеми глобальних змін природного середовища та регіональні аспекти ризику небезпечних процесів // Український географічний журнал. – № 4. –1999. – С. 3 – 6.
122. Макаров Б.Н. Газовый режим почвы / Б.Н. Макаров. - М.: Агропромиздат. - 1988. - 105 с.
123. Мамаев Б.М. Зоологическая оценка стадий естественного разрушения древесины / Б.М. Мамаев // Известия АН СССР. Сер. биол. - 1960. - №4. - С. 610 -617.

124. Манаков К.Н. Продуктивность и биологический круговорот в тундровых биогеоценозах Кольского полуострова / К.Н. Манаков. - Л.: Наука, 1972. - 148 с.
125. Марискевич О.Г. Разложение целлюлозы как функциональный компонент детритной трансформации веществ в горных экосистемах // Проблемы лесоведения и лесной экологии. М.:Наука. 1990. – С.354-356.
126. Марискевич О.Г., Шпаківська І.М. Біологічна оцінка деструкційних процесів у ґрунтах Чорногори (Українські Карпати) // Тези доповідей конференції, присвяченій 100-річчю докучаєвської кафедри ґрунтознавства. – Харків, 1994. – С. 100.
127. Марискевич О.Г., Шпаківська І.М. Трансформація органічної речовини у ґрунтах Чорногори // Наукові записки природознавчого музею НАН України. – Львів, 1996. – с. 12.
128. Мезенцева Л. М. Баланс веществ, образующихся при микогенном разложении листового опада / Л.М. Мезенцева, Н.Т. Степанова // Экология. - 1981.- №4.- С. 32-37.
129. Мина В.Н. Биологическая активность лесных почв и ее зависимость от физико-географических условий и состава насаждений // Почвоведение, 1957. № 10. С. 73-79.
130. Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах / отв. ред. В. Н. Кудеяров. – М.: Наука, 2007. – 381 с.
131. Моисеев Б.Н. Оценка потоков и баланс органического углерода в основных биомах России / Б.Н. Моисеев, И.О. Алябина // Бюллетень "Использование и охрана природных ресурсов России". - 2004. - №1. - С. 61-69.
132. Мокронос А.Т. Глобальный фотосинтез и биоразнообразие растительности // Кру- говорот углерода на территории России. М.; 1999. С. 19-63.
133. Молчанов А.А. Быстрота разложения соснового и елового опада / А.А. Молчанов // Доклады АН СССР. - 1947. - Т. 56. - №8. - С. 869 - 872.
134. Молчанов А.А. Методика изучения прироста древесных растений. / А.А. Молчанов, В.В. Смирнов. - М.: Из-во: «Наука». -1967. - 101 с.

135. Мухортова Л.В. Запас и трансформация органического вещества почв под лесными культурами: автор, дис.канд. биол.наук / Л.В. Мухортова. - Красноярск, 2001. -23 с.
136. Одум Ю. Экология : в 2-х т. / Ю. Одум. – М. : Мир, 1986. – 328 с., 376 с. – (Пер. с англ.).
137. Оленчук Я., Николин А. Грунти Львівської області. – Львів: Вид-во “Каменярь”, 1969. – 84 с.
138. Орлов Д.С. Реальные и кажущиеся потери органического вещества почвами Российской Федерации /Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, М.С. Розанова // Почвоведение. 1996. - №2. - С. 197-207.
139. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. - 326 с.
140. Орлов Д.С. Трансформация органического вещества в гумусе / Д.С. Орлов // Природа. -1994. - №7. - С. 32-36.
141. Орлов Д.С. Устойчивость органических соединений почвы и эмиссии парниковых газов в атмосферу / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова // Почвоведение. -1998, - №7. - С. 783-793.
142. Орлов А.Я. Значение отмирающих корней деревьев в круговороте веществ в лесу / А.Я. Орлов // Общая биология. -1966. - №1. - С. 40-48.
143. Орлов Д. С. Химия почв: Учебник. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. — 376 с.
144. Парпан В. І. Опад, лесная подстилка и биокруговорот химических элементов в культурных лесных биогеоценозах Малого Полесья УССР / В. І. Парпан: автореферат дис. ... к.б.н.: 03.00.16. – Д., 1977. – 20 с.
145. Пашко В.И. Влияние сомкнутости крон на продуктивность нижних ярусов сосняков Канской лесостепи / В.И. Пашко // Средообразующая роль леса: сборник статей. - Красноярск, 1974. - С. 228 - 238.
146. Пирогов Н. А., Чирков Г. В. Продолжительность периода вывала сухостойных деревьев в зависимости от их диаметра и породы // Лес-2002: Материалы междунар. конф. Брянск.: БГИТА, 2002. - С. 22–24.
147. Полубояринов О.И. Плотность древесины / О.И. Полубояринов. - М.: Лесная промышленность, 1976. – 200 с.

148. Практикум по агрохимии /Под ред. В.Г.Минеева. – М.:Изд-во МГУ, 1989. – С.88-89.
149. Природа Львівської області / під. ред. К. І. Геренчука. – Київ, 1972. - 151 с.
150. Пьявченко Н.И. Биологическая продуктивность и круговорот веществ в болотных лесах Западной Сибири // Лесоведение. 1967 Т. 3. - С. 32-43.
151. РафаелаТіннер. Методичні вказівки із статистичної інвентаризації Угольсько- ширококолужанського букового пралісу / РафаелаТіннер, Брігітте Коммармот, Петер Бранг, Урс- Беат Брендлі. Версія 1.3 від 30.04.2010 на основі пілотної інвентаризації 2009 р. - Режим доступу: <http://www.wsl.ch/>.
152. Роде А.А. Несколько данных о физико- химических свойствах водно-растворимых веществ лесных подстилок / А.А. Роде // Почвоведение. -1941. - №3. -С.103 -128.
153. Родин Л.Е Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара / Л.Е. Родин, Н.И. Базилевич. - М.: Л. -1965. - 254 с.
154. Родин Л. Е. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах / Л. Е. Родин, Н. П. Ремезов, Н. И. Базилевич. – Л. : Наука, 1968. – 143 с.
155. Рожак В.П. Пули і потоки вуглецю в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати) // Наукові записки. Біологія і валеологія. – Харків: ХНПУ. – 2014. – С. 85-95.
156. Рожак В. П. Особливості формування запасів мертвої деревини в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати) // Наукові записки ТНПУ ім. Володимира Гнатюка. Серія біологія. – 2014. – С. 57-66.
157. Рожак В.П., Шпаківська І.М.. Динамика древесного опада в лесных экосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати) // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2014. – № 1. – С.175-179.
158. Рожак В.П., Шпаківська І.М.. Особливості формування запасів фітомаси лісових екосистем Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати) // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – Випуск. 23.18. – С. 9-17.

159. Рожак В.П., Козловський В.І. Запаси й елементний склад опаду та підстилки в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати) // Вісник ЛНУ ім. Івана Франка. Серія біологічна. – 2013. – Вип. 62. – С.160-169.
160. Соловьев В.А. Микогенный ксиллиз, его экологическое и технологическое значение // Научные основы устойчивости лесов к дереворазрушающим грибам. -М.: Наука, 1992.- 221 с.
161. Соломаха В. А., Якущенко Д. М., Крамарець В. О. та ін. Національний природний парк “Сколівські Бескиди”. Рослинний світ. – К.: Фітоцентр, 2004. – 240 с.
162. Стороженко В.Г. Датировка разложения валежника ели / В.Г. Стороженко // Экология. - 1990. - №6. - С. 66 - 69.
163. Стороженко В.Г. Датировка разложения крупных древесных остатков в лесах различных природных зон / В.Г. Стороженко // Лесоведение. - 2001. - № 1. - С. 49-53.
164. Стороженко В.Г. Длительность разложения древесного опада в древостоях южной лесостепи / В.Г. Стороженко // Лесоведение. - 2000. - №3. - С. 36 - 39.
165. Стороженко В.Г. Показатели древесного опада в коренных ельниках таежной зоны Русской равнины // Грибные сообщества лесных экосистем. Т. 2 / Под ред. Стороженко В.Г., Крутова В.И. - Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2004. - С. 221-238.
166. Сукачев В.Н. Основы лесной биогеоценологии / В.Н. Сукачев, Н.В. Дылис. - М.: Наука, 1964. - 576 с.
167. Тейт Р. Органическое вещество почвы: биологические и экологические аспекты / Р. Тейт. – М.: Мир, 1991. – 400 с. – (Пер. с англ.).
168. Титлянова А. А Биологический круговорот углерода в травяных биогеоценозах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. - 220 с.
169. Титлянова А.А.титлянова Биологическая продуктивность травяных экосистем// Титлянова А.А., Базилевич НИ., Снытко В.А. и др. Новосибирск: Наука. Сиб. огд-ние, 1988. – 134 с.

170. Титлянова А.А., Тесаржева М. Режимы биологического круговорота углерода. –Новосибирск: Наука. Сиб.отделение, 1991. – 150 с.
171. Титлянова А.А. Запасы лабильного углерода в экосистемах Западной Сибири / А.А. Титлянова, С.Я. Кудряшова, М.В. Якушин // Почвоведение. -1999. - №3. -С. 332-341.
172. Титлянова А.А. Запасы органического углерода в почвах Западной Сибири / А.А. Титлянова, Г.И. Булавко, Н.П. Миронычева-Токарева, М.Ф. Хвацевская // Почвоведение. - 1994. - №10. - С. 49 - 53.
173. Титлянова, А.А. Продукционный процесс в агроценозах / А.А. Титлянова, Н.А. Тихомирова Н.Г. Шатохина. – Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1982. – 184 с.
174. Титлянова А.А., Кирюшин В.И., Охинько И.П. и др. Агроценозы степной зоны. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ие, 1984.- 264 с.
175. Титлянова А.А. Круговорот углерода в луговых экосистемах / А.А. Титлянова, Н.Б. Наумова, Н.П. Косых //-1993.- №3. - С. 32-39.
176. Трефилова О.В. Годичный цикл углерода в сосняках средней тайги Приенисейской Сибири: автореф. дис.канд.биол.наук: 03.00.16 / Ольга Владимировна Трефилова. - Красноярск, 2006. - 17 с.
177. Тюрин И.В. География закономерности гумусообразования / И.В. Тюрин // Тр. Юбилейной сессии, посвящ. 100-летию со дня рождения В.В. Докучаева. -М.: Изд-во АН СССР. -1949. - С. 85-101.
178. Тюрин И.В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. / И.В. Тюрин АН СССР. Почвенный Инстетут ИМ. В.В. Докучаева. Наука. Москва 1965. – С. 319.
179. Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. В. А. Алексева, Р. А. Бердси. Красноярск: Наука, 1994.- 170 с.
180. Усольцев В.А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев / В.А. Усольцев. – Красноярск : Изд-во "Наука". – 1985. – 192 с.
181. Усольцев В.А. Формирование банков данных о фитомассе лесов / В.А. Усольцев. - Екатеринбург: УрО РАН, 1998. - 541 с.



182. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география / В.А. Усольцев. - Екатеринбург: УрО РАН, 2001. - 708 с.
183. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: предельная продуктивность и география / В.А. Усольцев. - Екатеринбург: УрО РАН, 2003.- 406 с.
184. Усольцев В.А. Методы определения биологической продуктивности насаждений / В.А. Усольцев, СВ. Залесов. - Екатеринбург: УГЛТУ, - 2005. - 147 с.
185. Усольцев В.А. Оценка предельных запасов углерода в фитомассе елово-пихтовых экосистем Северной Евразии / В.А. Усольцев // Экология. 1998.- №5.-С. 366-375.
186. Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов: Методы изучения и результаты // Лесоведение и лесоводство: Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ, 1975. Т. 1. - С. 9-189.
187. Уткин А.И. Исследование по первично биологической продуктивности лесов в СССР / А.И. Уткин // Лесоведение. - 1970. - №3. - С . 58-90.
188. Уткин А.И. О показателях лесных биогеоценозов // Бюл. МОИП. Отд. биол., 1975. Т. 80, № 2. С. 95-107.
189. Уткин А.И. Углеродный цикл и лесоводство / А.И. Уткин // Лесоведение. - 1995. - № 5. - С. 3-20.
190. Уткин А.И. Определение запасов углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионно-объемного методов / А.И. Уткин, Д.Г. Замолотчиков, Г.Н.Коровин, В.В. Нефедьев, Т.А. Гульбе, Я.И. Гульбе, СП. Гамбург // Лесоведение. -1997. - №5. - С. 51 - 66.
191. Уткин А.И. Методы определения депонирования углерода фитомассы и нетто-продуктивности лесов (на примере республики Беларусь)/ А.И. Уткин, Д.Г. Замолотчиков, А.А. Пряжников // Лесоведение. - 2003. - №1. - С. 48 - 57.
192. Ушакова Г.И. Влияние экологических условий на скорость и характер разложения лесной подстилки (Кольский полуостров) / Г.И. Ушакова // Почвоведение. -2000. - №8. - С. 1009 - 1015.

193. Федоров-Давыдов Д.Г. Дыхательная активность тундровых биогеоценозов и почв Колымской низменности // Почвоведение. – 1998. - №3. – С. 291-301.
194. Фурдичко О. І. Карпатські ліси: проблеми екологічної безпеки і сталого розвитку гірського регіону. – Львів: Біблос, 2002. – 192 с.
195. Царик Й.В., Опад у смерекових лісах на верхній межі їх поширення в Українських Карпатах // Український ботанічний журнал. – 1978. – Т.35, №3. – С. 291 – 295.
196. Цись П. М. Геоморфологія УРСР. – Львів: Вид-во Львівського університету, 1962. – 224 с.
197. Цурик Е. И. Ельники Карпат (Строение и продуктивность). Львов: Вища шк., ЛЛТИ, 1981. - 184 с.
198. Частухин В.Я. Биологический распад и ресинтез органического вещества в природе / В.Я. Частухин, М.А. Николаевская. - Л.: Наука, 1969. - 326 с.
199. Честных О.В. Общие запасы биологического углерода и азота в почвах лесного фонда России / О.В. Честных, Д.Г. Замолотчиков, А.И. Уткин // Лесоведение. - 2004. - №4. - С. 30-42.
200. Чернобай Ю.Н. Динамика экстрактивных веществ в подстилках дубовых лесов верхнего Приднестровья / Ю.Н. Чернобай, О.Г. Марискевич // Почвоведение. - 1991. - №4. - С. 162-167.
201. Чернобай Ю. М. Трансформація рослинного детриту в природних екосистемах. Львів: ДПМ НАН України, 2000. - 352 с.
202. Чернобай Ю.М., Марискевич О.Г. Органічний склад підстилок у фітоценозах Українських Карпат // Укр. ботан. журн. – 1992. – 49, № 3. – С.20-25.
203. Чернобай Ю.М. Профільний розподіл і трансформація фітодетриту в лісових угрупованнях Карпат / Чернобай Ю.М., Марискевич О.Г./ Укр.ботан.журн.- - 1994. – 51, № 5. – С. 75-81.
204. Чупрова В.В. Углерод и азот в агроэкосистемах Средней Сибири / В.В. Чупрова. -Красноярск: КГУ. -1997. -166 с.
205. Швабеланд И.С. Запас и динамика легкоминерализуемого органического вещества в почвах Хакасии. Автореф. Дис... канд. биол. Наук. Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, Абакан 2002. - 26 с.

206. Швиденко А. З., Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины. – К. : Урожай, 1987. – 559 с.
207. Швиденко А. З., Ваганов Е. А., Нильссон С. Биосферная роль лесов России на старте тысячелетия: углеродный бюджет и Протокол Киото // Сибирский экологический журнал. – 2003. – № 6. – С. 649 – 658.
208. Шилов И.А. Экология. М., Высшая школа 1998. — 512 с.
209. Шилова Е.И. Метод получения почвенного раствора в природных условиях // Почвоведение, 1955. № 11. С. 86-90.
210. Шилова Е.И. Состав и свойства лизиметрических вод лесных подзолистых почв Южной Карелии / Е.И. Шилова, А.А. Стрелкова // Почвоведение. - 1974. - №1. -С. 18-28.
211. Шпаківська І.М., Марискевич О.Г. Мінералізація органічного вуглецю у ґрунтах екосистем Чорногори (Східні Карпати) // Наукові основи збереження біотичної різноманітності/ Тематичний збірник Інституту екології Карпат НАН України. – 2002. - Випуск 3.- С.170-180.
212. Шпаківська І.М. Дихання ґрунту в екосистемах бореального ряду на верхній межі лісу Чорногори (Українські Карпати). – Автореферат дис... канд. біол. Наук. Дніпропетровськ, 2004. – 20 с.
213. Шпаківська І. М. Балансова оцінка кругообігу вуглецю в екосистемах бореального ряду на верхній межі лісу в Чорногорі (Українські Карпати) / І. М. Шпаківська // Наук. зап. Держ. природознав. музею. - 2009. - Вип. 25. - С. 91-98.
214. Шпаківська І. М., Марискевич О. Г. Оцінка запасів органічного вуглецю в лісових екосистемах Східних Бескидів / І.М. Шпаківська, О.Г. Марискевич // Лісівництво і агро меліорація. – Харків: УкрНДІЛГА, 2009. – Вип. 115. – С. 176-180.
215. Шпаківська І.М. Водорозчинний вуглець у ґрунтах наземних екосистем Сколівських Бескидів (Українські Карпати) / І. Шпаківська // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. - 2008. - 48. - С. 89-96.
216. Шпаківська І.М. Мінералізація органічного вуглецю у ґрунтах екосистем Чорногори (Східні Карпати) Шпаківська І.М., Марискевич О.Г.// Наукові

- основи збереження біотичної різноманітності/ Тематичний збірник Інституту екології Карпат НАН України. Вип. 3: 2002. – С.140-145.
217. Шугалей Л. С., Чупрова В. В. Запасы углерода в блоках естественных и антропогенно-нарушенных лесных экосистем и его баланс // Сибирский экологический журнал. – № 5. – 2003. — С. 545 – 555.
218. Щепаченко Д. Г., Швиденко А. З., Лакида П. И. База данных структуры фитомассы лесов России // Изв. вузов. Лесн. журн. 2005. № 4.- С. 80–86.
219. Яковлева-Носарь С.О. Морфолого-фракційна характеристика підстилки байраку Генералка / Вісник ЗНУ. Біол.наук.№2, 2008. – С. 190-195.
220. Ямковой В.Т. Биологический круговорот зольных элементов и азота в буковых биогеоценозах Бескид (Украинские Карпаты). – Автореф. Дис... канд. биол. Наук. – Днепропетровск, 1985. – 24 с.
221. Ялынская Е.Е. СОг-газообмен почвы и напочвенного покрова в сосняке черничном / Е.Е. Ялынская // Экология. - 1999. - №6. - С. 411-415.
222. Abbe, T.B. 'Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers'. Abbe, T.B. Montgomery, D.R., Regulated Rivers: Research and Management, vol. 12, issue 2-3 1996. – P. 201–221.
223. Abbott D.T. Woody litter decomposition following clear-cutting I D.T. Abbott, D.A. Crossley //Ecology. - 1982. - V. 63. - P. 35 - 42.
224. Alban D.H. Decomposition of aspen, spruce and pine boles on two sites in Minnesota I D.H. Alban, J. Pastor II Can. J. For. Res. -1993. - № 23 - P. 1744 - 1749.
225. Anderson J.P.E., Domsch K.H. Measurement of bacterial and fungal contribution to respiration of selected agricultural and forest soils // Canadian Journal of Microbiology, 1974. - V.21. - P. 314-322.
226. Arthur M. A. Mass and nutrient of decaying boles in an Engelmann spruce - subalpine fir forest, Rocky Mountain National Park, Colorado IM. A. Arthur, T. J. Fahey II Can. J. For. Res. - 1990. - № 20. - P. 730 - 737.
227. Boyer J. N. Bioavailability of water extractable organic carbon fractions in forest and agricultural profiles / J. N. Boyer, P. M. Groffman // Soil Biol. Biochem. – 1996. – Vol. 28, № 6. – P. 783–790.

228. Brown J. K. Eliminating biases in the planer intersect method for estimating volumes of small fuels I J. K. Brown, P.J. Roussopoulos II Forest Sci. -1974. - V. 20. - P. 250 - 256.
229. Brown J.K. Handbook for inventorying downed woody material I J.K. Brown. Gen Tech. Rep. INT - 16. - Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1971. - 24 p.
230. Caspersen, J. P., S. W. Pacala, J. C. Jenkins, G. C. Hurtt, P. R. Moorcraft, and R. A. Birdsey, Contributions of land-use history to carbon accumulation in U. S. forests., Science, 200., 290, 1148 – 1151.
231. Chapin FS, Matson PA, Mooney HA Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer, New York. 2002.
232. Chen H. Decomposition and nitrogen release from decomposing woody roots coniferous forests of Pacific Northwest: a chronosequence approach I H. Chen M.E. Harmon, R.P. Griffiths II Can. J. For. Res. - 2001. - V. 31. - №2. - P. 246 - 260.
233. Clark, D.F., Kneeshaw, D.D., and Antos, J.A. 1998. Coarse woody debris in sub-boreal spruce forests of west-central British Columbia. Can. J. For. Res. 28.- P. 284–290.
234. Dahlman, R. C., and C. L. Kucera. 1965. Root productivity and turnover in native prairie. Ecology 46.- P. 84-89.
235. Dobiasz A. Sylwan. Czasopismo miesięczne dla leśników i właścicieli ziemskich. Organ Galicyjskiego Towarzystwa Leśnego, R. 24 Czerwiec, 1906.- S. 201-208.
236. Dudley, S. Effect of woody debris entrapment on flow resistance, J., J. C. Fischenich, and S. R. Abt, J. Am. Water Resour. Assoc., 34, 1998. – P. 1189–1197,
237. Edwards N.T. Carbon cycling in mixed deciduous forest floor I N.T. Edwards, W.F. Harris I Ecology, 1977. - Vol. 58. - #2. - P. 431-437.
238. Eswaran H. Organic carbon in soils of the words / H. Eswaran, E. van Den Berg, P. Reich // Soil sciencesociety of America journal. – 1993. – Vol. 57. – P. 192–194.
239. FAO. Carbon sequestration in dryland soils. world soils resources reports 102. Rome, 2004. – P. 99.

240. Foster J.R. Decomposition of red spruce and balsam fir boles in the White Mountains of New Hampshire I J.R. Foster, G.E. Lang II Can. J. For. Res. - 1982. - №12. -P.617-626.
241. Franklin, J.F., Tree death as an ecological process. Franklin, J.F., Shugart, H.H., Harmon, M.E. BioScience 37, 1987.- P. 550–556.
242. Goulden M.L. Measurements of carbon sequestration by long-term eddy covariance: methods and a critical evaluation of accuracy I M.L. Golden [et.al.] II Global Change Biology. - 1996. #2: - P. 169-182.
243. Harmon M.E. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems I M.E. Harmon, J.F. Franklin, F.J. Swanson, P. Sollins, S.V. Gregory II Adv. Ecol Res. - 1986. -15.-P. 133-302.
244. Harmon M. E. Coarse woody debris in mixed - conifer forests, Sequoia National Park, California I M.E. Harmon, K.J. Cromack, B.G. Smith II Can. J. For. Res. - 1987. -V. 17. - P. 1265 - 1272.
245. Harmon M.E. Decomposition vectors: a new approach to estimating woody detritus decomposition dynamics I M.E. Harmon, O.N. Krankina, J. Sexton II Can. J. For. Res. - 2000. - V. 30. - P. 76 - 84.
246. Henriksen T.M., Breland T.A.: Nitrogen availability effects on carbon mineralization, fungal and bacterial growth. Soil Biology and Biochemistry, 31 1999.- P. 1121–1134.
247. Isaev A., Korovin G., Zamolodchikov D., Utkin A., Pryaznikov A. Carbon stock and deposition in phytomass of the Russian forests // Water, Air and Soil Pollution. 1995. 82. - P. 247-256.
248. Keenan R.J. Mass and nutrient content of woody debris and forest floor in western red cedar and western hemlock forests on northern Vancouver Island I R.J. Keenan, C.E. Prescott, J.P. Kimmins II Can. J. For. Res. - 1993. - № 23. - P.- 1052 -1059.
249. Keeton W.S. Structural characteristics and aboveground biomass of old-growth spruce-fir stands in the eastern Carpathian mountains, Ukraine // W.S. Keeton, M. Chernyavskyy, G. Gratzner, M. Main-Knorn, M. Shpylchak, Y. Bihun – Plant Biosystems. – 2010. – № 144. – P. 1-12.

250. Krankina O.N. Dynamics of the dead wood carbon pool in northwestern Russian boreal forests I O.N. Krankina, M.E. Harmon II *Water Air Soil Pollut.* - 1995. - № 82. - P. 227 - 238.
251. Krankina O.N. Nutrient stores and dynamics of woody detritus in a boreal forest: modeling potential implications at the stand level I O.N. Krankina, M.E. Harmon, A.V. Griazkin II *Can.J. For. Res.* -1999. - 29. - P. 20 – 32.
252. Laiho R. The contribution of coarse woody debris to carbon, nitrogen, and phosphorus cycles in three Rocky Mountain coniferous forests IR. Laiho, C.E. Prescott II *Can. J. For. Res.* - 1999. - 29. - P. 1592 -1603.
253. Lambert R.L. Loss of mass and chemical change in decaying boles of a subalpine balsam fir forest I R.L. Lambert, G.E. Lang, W.A. Reiners II *Ecology.* - 1980. - V. 61(6). –P. 1460-1473.
254. Laurent S. Forest et rechauffement global IS. Laurent, M. Tabeaud II *Bull. Assoc. Geogr. Fr.* - 1996. - V. 73. - #4. - P. 313-323.
255. Lavingne M.B. Comparing nocturnal eddy covariance measurements to estimates of ecosystem respiration made by scaling chamber measurements at six coniferous boreal sites I M.B. Lavingne [et.al.] II *Journal of Geophysical Research*/-1997. - #102.-P. 28977-28985.
256. Lovett GM, Canham CD, Arthur MA, et al. Forest ecosystem responses to exotic pests and pathogens in eastern North America. *BioScience* 56.- 2006. P. 395–405.
257. Luo, Y. Q.; Sherry, R.; Zhou, X. H. & Wan, S. Q. Terrestrial carbon-cycle feedback to climate warming: experimental evidence on plant regulation and impacts of biofuel feedstock harvest. *Global Change Biology Bioenergy*, 2009. 1, 1.- P. 62-74.
258. Martina Mund Carbon pools of European beech forests (*Fagus sylvatica*) under different silvicultural management I Mund Martina. - Gottingen. -2004.-189 p.
259. Merganičová K, Merganič J, Svoboda M, Bače R, Šebeň V Deadwood in forest ecosystems. In: Blanco JA, Lo YH (eds) *Forest Ecosystems – More than Just Trees*, InTech Book.- 2012. P. 81–108.

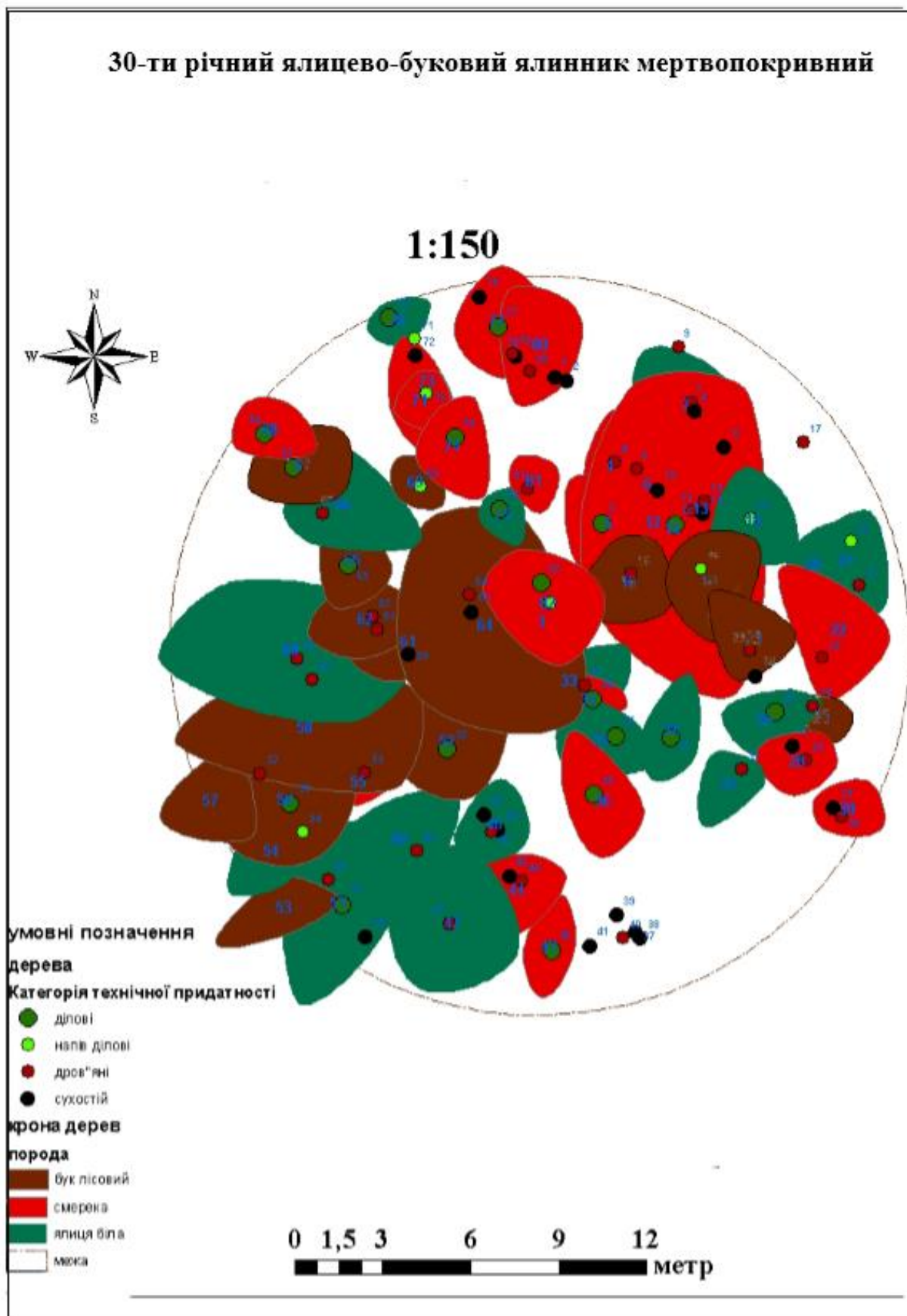
260. Mohren G.M.J. CO<sub>2</sub>FIX: a dynamic model of the CO<sub>2</sub>-fixation in forest stands I G.M.J. Mohren, C.G.M.K. Goldewijk II De Dorschkamp, Research Institute for Forestry and Urban Ecology. Report No. - 1990. – 624p.
261. Obrębska-Starkłowa B., Hess M., Olecki Z., Trepińska J., Kowanetz L. 1995. Klimat. W: Karpaty Polskie. Przyroda, człowiek i jego działalność. Krakow: UJ, 1995.- S. 31 – 47.
262. O'Connell K.E.B. Net ecosystem production of two contrasting boreal black spruce forest communities I K.E.B. O'Connell, S.T. Gower, J.M. Norman II Ecosystems. - #6. - P 248-260.
263. Ódor P., Standovár T., Changes of physical and chemical properties of dead wood during decay (Hungary). The NatMan Project, Working Report. 2003., 23-29.
264. Olson, J.S., J.A. Watts, L.J. Allison. Major World Ecosystem Complexes Ranked by Carbon in Live Vegetation: A Database. Carbon Dioxide Information Analysis Center. 1985. Online Resource: <http://cdiac.esd.ornl.gov/ndps/ndp017.html>
265. Ovington J.D. The volatile matter? Organic carbon and nitrogen contents of tree species grown in close stands / J.D. Ovington // New Phytol. – 1957. – № 56. – P. 1-132.
266. Raich J. W. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate I J.W. Raich, W.H. Schlesinger II Tellus. -1992. -44B.- P. 81-99.
267. Randerson JT, Chapin FS, III, Harden J, Neff JC, Harmon ME. 2002. Net ecosystem production: A comprehensive measure of net carbon accumulation by ecosystems. Ecological Applications 12.- P.937-947.
268. Rollinger JL, Strong TF, and Grigal DF Forested soil carbon storage in landscapes of the northern Great Lakes region. In: Lal R, Kimble JM, Follett RF, and Stewart BA (eds) Management of carbon sequestration in soil. CRC Press, Boca Raton, New York, 1998.- P. 335-350.
269. Ruess R.W. Contributions of fine root production and turnover to the carbon and nitrogen cycling in taiga forests of the Alaskan interior/ R.W. Ruess, K.V. Cleve, J. Jarie, L.V. Viereck II Can. J. For Res. - 1996. - V. 28. - №8. - P. 1326 - 1336.

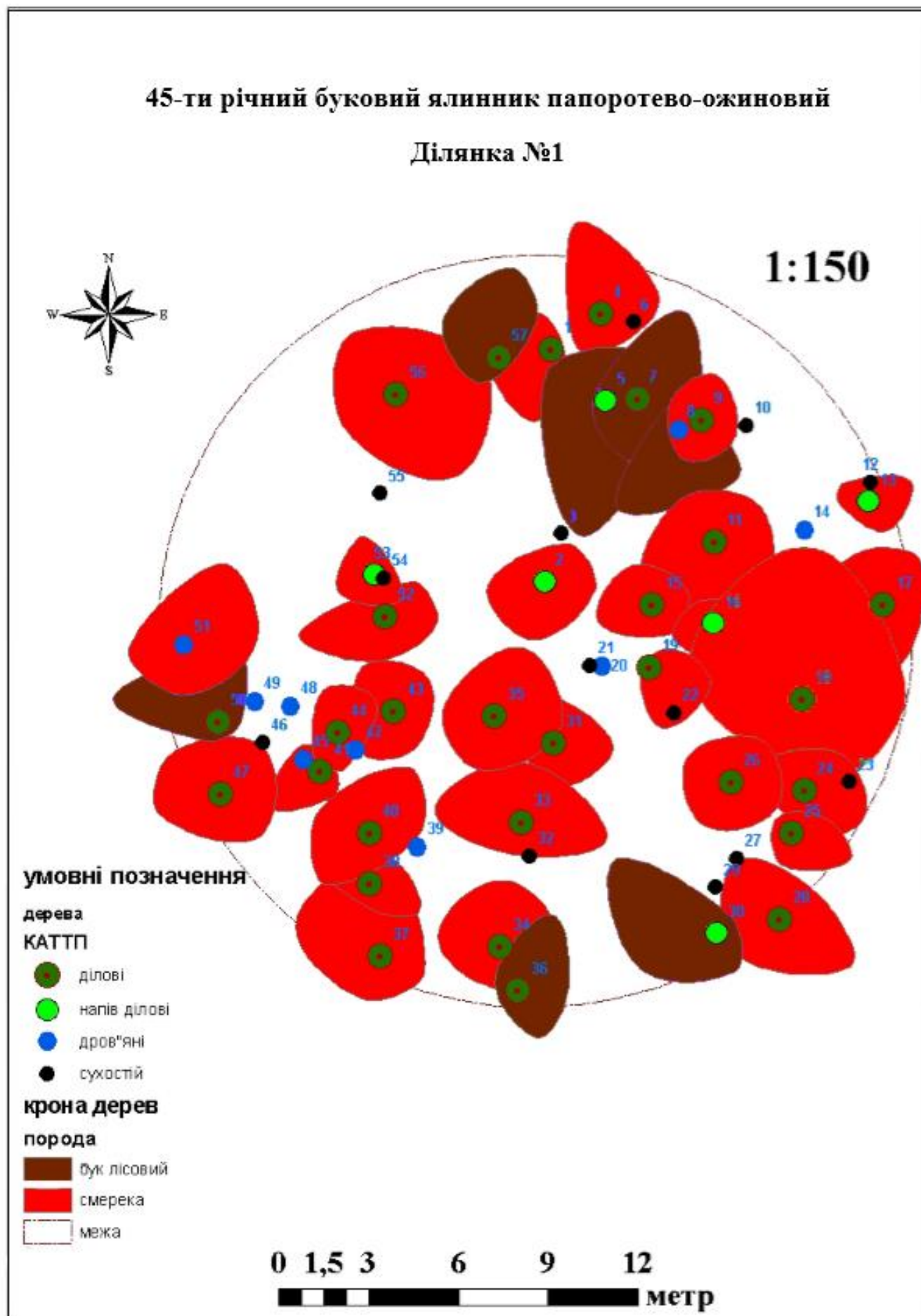


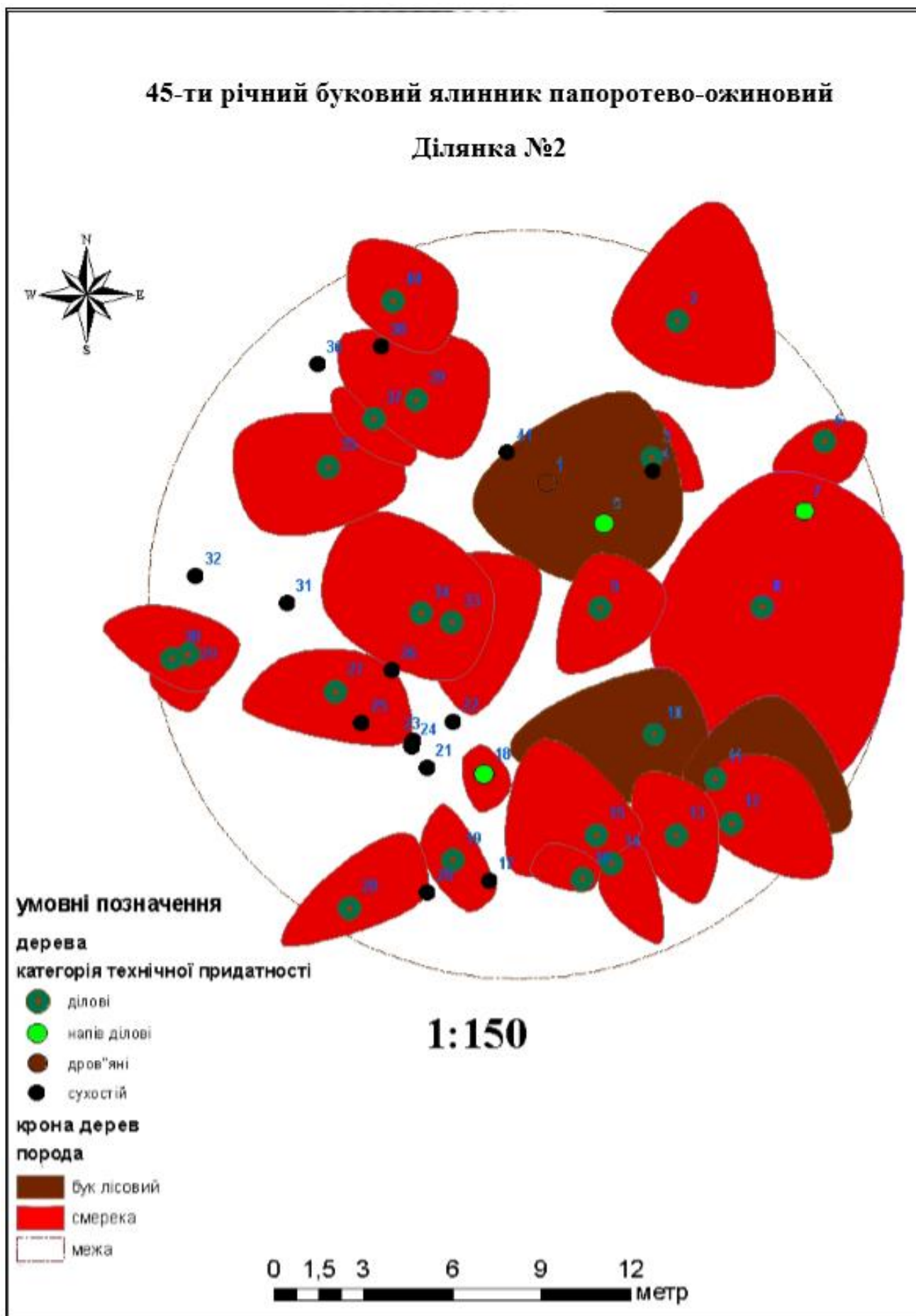
270. Sakamoto, K., Oba, Y. (1994) Effect of fungal to bacterial biomass ratio on the relationship between CO<sub>2</sub> evolution and total soil microbial biomass. *Biology and Fertility of Soils*, 17 (1). - P. 39-44.
271. Schloerer J. Why does atmospheric CO<sub>2</sub> rise? / J. Schloerer. – 1996. – Online Resource: <http://www.radix.net/~bobg/faqs/scq.co2rise.html>.
272. Schulz E. Die heißwasserextrahierbare C-Fraktion als Kenngröße zur Einschätzung des Versorgungszustandes der Böden mit organischer Substanz (OS). Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.-Wiss., 1990.- S.269–275.
273. Shibistova O. Seasonal and spatioal variability in soil CO<sub>2</sub> efflux rates for a central Siberian *Pinus sylvestris* forest. Shibistova, J. Lloyd, S. Evgrafova, N. Savushkina, G. Zrazhevskaya, A. Arneth, A. Knohl, O. Kolle, E.-D. Schulze II *Tellus*. - 2002. - № 54 B. - P. 552 - 567.
274. Shvidenko, A., Venevsky, S. and S. Nilsson.. Increment and mortality for major forest species of Northern Eurasia with variable growing stock. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria. Working Paper 1996. 96-98.
275. Smith, J. E. A model of forest floor carbon mass for United States forest types, report, Northeast. Smith, J. E., and L. S. Heath Res. Stn., For. Serv., USDA, Newtown Square, Pa 2002
276. Sparling, G., Vojvodic-Vucovic, M., Schipper, L.A., 1998. Hot-water-soluble C as a simple measure of labile soil organic matter: the relationship with microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 30.- P.1469–1472.
277. Spies T.A. Coars woody debris in Douglas-fir forests of western Oregon and Washington I T.A. Spies, J.F. Franklin, T.B. Thomas II *Ecology*. - 1988. - V. 69. - P. 1689-1702.
278. Storaunet, K.O. Models to predict time since death of *Picea abies* snags. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19: 2004. – P. 250–260.
279. Van Wagner, C. E. The Line Intersect Method in Forest Fuel Sampling. *Forest Science*, Volume 14, Number 1, 1 March 1968.- P. 20-26.

280. Vedrova E.F. Net ecosystem production of boreal larch ecosystems on the Yenisei transect I E.F. Vedrova, F.I. Pleshikov, V.Y. Kaplunov II Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. - 2006. - P. 173-190.
281. Wachinger, G.; Fielder, S.; Zepp, K.; Gattinger, A.; Sommer, M.; Roth, K., 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. 2000. P. 1121-1130.
282. Wanatabe J. Decomposition rate of organic materials in heavy clay soil I J. Wanatabe, K. Ogawa, H. Jwama II Res. Bui. Hokkaido Nat. Agr. Exp. Stat. - №132.- 1981. P. 1-16.
283. Wirth C Beyond annual budgets: carbon flux at different temporal scales in fire-prone Siberian Scots pine forests I C. Wirth, C.I. Czimczik, E. - D. Schulze II Tellus. -2002.-№54 B.-P. 611-630.
284. Zhang, Y.; Xu, M.; Chen, H.; Adams, J. Global pattern of NPP to GPP ratio derived from MODIS data: Effects of ecosystem type, geographical location and climate. Glob. Ecol. Biogeogr., 18. 2009, P. 280–290.

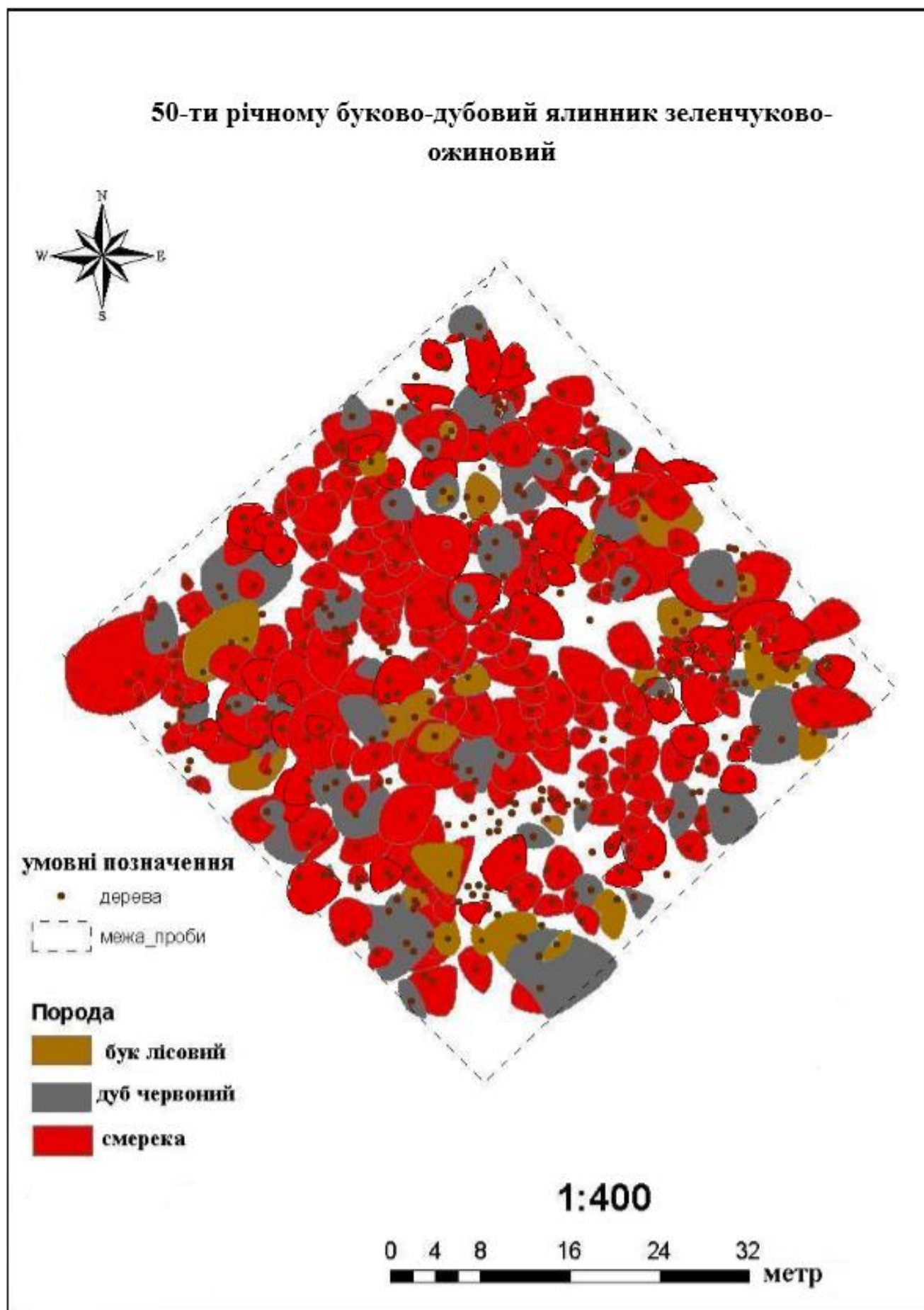
Горизонтальна структура деревного ярусу на досліджуваних ділянках Стрийсько-Сянської Верховини

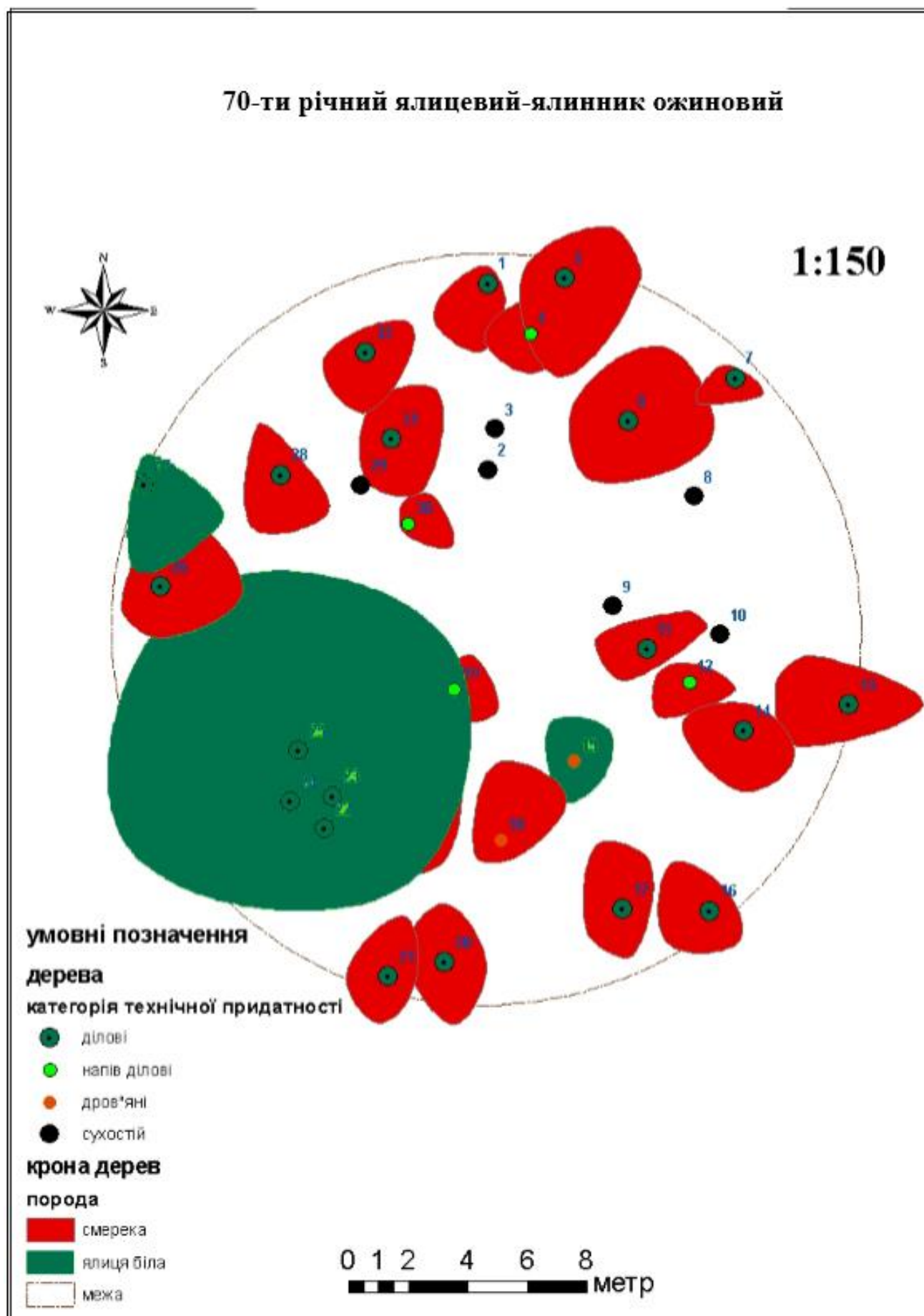












Основні таксаційні характеристики деревостанів на пробних площах  
Стрийсько-Сянської Верховини

Порода	Середнє значення		Сума площ перетину м <sup>2</sup> ·га	Кількість, дерев на га <sup>-1</sup>	Запас, м <sup>3</sup> ·га <sup>-1</sup>
	Діаметр, см	Висота, м			
30-ти річний ялицево-буковий ялинник мертвопокривний					
Ялина	20,2±0,2	16,0±0,9	14,7	460,0	134,0
Ялиця	15,9±0,5	12,1±1,8	7,9	400,0	63,2
Бук	16,0±0,5	13,8±1,6	10,6	340,0	78,7
45-ти річний буковий ялинник папоротево-ожиновий					
Ялина	24,9±0,4	20,9±1,2	28,9	530,0	332,9
Бук	21,9±1,2	19,3±2,5	2,0	60,0	19,6
50-ти річний буково-дубовий ялинник зеленчуково-ожиновий					
Ялина	20,1±0,1	20,3±0,7	35,3	1336,0	369,4
Дуб	21,3±0,2	21,0±0,8	10,0	280,0	110,7
Бук	11,8±0,6	15,5±2,0	1,4	136,0	11,3
70-ти річний ялицевий-ялинник ожиновий					
Ялина	28,0±1,2	22,2±2,7	27,1	440,0	318,8
Ялиця	43,7±8,2	28,8±6,0	12,0	80,0	170,2
110-ти річний буково-ялиновий яличник ожиново-папоротевий					
Ялиця	45,8±1,3	31,2±1,1	39,1	238,0	598,5
Ялина	30,9±2,6	25,9±2,0	5,6	75,0	73,9
Бук	29,2±1,6	22,6±2,8	3,2	41,0	38,5