

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕКОЛОГІЇ КАРПАТ

РОЖАК ВОЛОДИМИР ПЕТРОВИЧ

УДК 631.417.1: 631.433.3

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

03.00.16 – екологія

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

ЛЬВІВ-2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у відділі екосистемології Інституту екології Карпат НАН України

Науковий керівник: кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник
Марискевич Оксана Георгіївна,
Інститут екології Карпат НАН України,
відділ екосистемології, провідний науковий співробітник

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук, професор
Парпан Василь Іванович
Науково-дослідний інститут гірського лісівництва,
директор

кандидат біологічних наук, доцент
Вишенська Ірина Георгіївна
Національний університет “Києво-Могилянська академія”, факультет природничих наук, декан.

Захист відбудеться «__» _____ 2015 р. о ____ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради К35.257.01 для захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук у Інституті екології Карпат НАН України за адресою: 70026, м. Львів, вул. Козельницька, 4

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту екології Карпат НАН України за адресою: 7026, м. Львів, вул. Козельницька, 4

Автореферат розіслано «__» _____ 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат біологічних наук,
старший науковий співробітник

І.М. Шпаківська

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Встановлення ролі лісових екосистем окремих регіонів у глобальному циклі вуглецю є одним з основних напрямків сучасної екології. Біосферна роль лісових екосистем полягає в стабілізації рівня атмосферного CO₂ та визначається кількісним вмістом та якісним складом органічної речовини, що акумульована в окремих екосистемних блоках: фітомасі, фітодетриті та гумусі ґрунту. Депонування вуглецю автотрофним блоком лісових екосистем знижує наслідки парникового ефекту (Isaev, 1995).

З позицій циклу вуглецю, лісові екосистеми – це система блоків-резервуарів, пов'язаних між собою відповідними потоками (Титлянова, 1977). Запаси вуглецю в блоках та інтенсивність обмінних процесів – це основні параметри, що описують цикл вуглецю. Сучасні кліматичні зміни спричиняють інтенсифікацію потоку неорганічного вуглецю з поверхні ґрунтів за рахунок біохімічної деградації органічної речовини. У зв'язку із загрозою глобального потепління, одним з актуальних завдань екології є отримання об'єктивних оцінок балансу вуглецю в лісових екосистемах окремих регіонів.

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 та 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, підрості (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 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 надгрунтовій фітомасі та фітодетриті з врахуванням грубих деревних залишків;
- визначено співвідношення між надходженням і мінералізацією надгрунтового фітодетриту, розраховано річний баланс та величину чистої екосистемної продукції;
- враховано внесок грубих деревних залишків різних стадій розкладу в емісію CO₂;
- 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 роботи. 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 роботи 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.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел (279 найменувань, серед яких латиницею 60) та додатків. Загальний обсяг дисертації - 160 сторінок, основний зміст викладено на 128 сторінках. Робота містить 26 таблиць і 37 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ЦИКЛ ВУГЛЕЦЮ В ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ

У розділі проаналізовано літературні дані стосовно оцінки запасів і потоків вуглецю в лісових екосистемах (Титлянова, 1977; Ведрова; и др., 2002; Кудеяров 2007; Franklin et al, 1987; Ruess et.al, 1996; Keeton et.al, 2010; та ін.).

Незважаючи на збільшення об'єму досліджень, спрямованих на вивчення параметрів вуглецевого циклу в лісових екосистемах, все ще відчувається нестача даних щодо запасів органічної речовини, акумульованої в окремих компонентах автотрофного блоку - піднаметовому ярусі, коріннях деревних і трав'яних угруповань, у стовбуровому фітодетриті, швидкості мінералізації, міграції та гуміфікації органічного матеріалу конкретних типів екосистем. розглянуто сучасний теоретико-методологічний підхід до оцінки циклу вуглецю в лісових екосистемах, який полягає у використанні балансового методу. Для цього методу важливим є кількісна оцінка запасу органічного С в основних блоках екосистеми, таких як "фітомаса" і "грунт" та інтенсивності обмінних потоків між ними. Мінералізаційний потік (гетеротрофне дихання) включає вуглець, що вивільняється в процесі розкладу рослинних залишків, і рухому частку вуглецю гумусових сполук.

ПРИРОДНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ СТРИЙСЬКО-СЯНСЬКОЇ ВЕРХОВИНИ

На підставі аналізу літературних джерел проаналізовано природні й антропогенні чинники формування лісових екосистем у сучасному біогеоценотичному покриві досліджуваного гірського регіону.

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктами дослідження були типові лісові екосистеми Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати), локалізовані в Турківському районі Львівської області (8 і 38 кв. Боринського лісництва ДП «Боринське ЛГ») в межах висот 650-710 м н.р.м. (рис.1).

Дослідні ділянки репрезентують умовно-корінні та вторинні лісові екосистеми, вибір яких зумовлений їхнім домінуванням у сучасному біогеоценотичному покриві Стрийсько-Сянської Верховини (Концептуальні засади..., 2007).

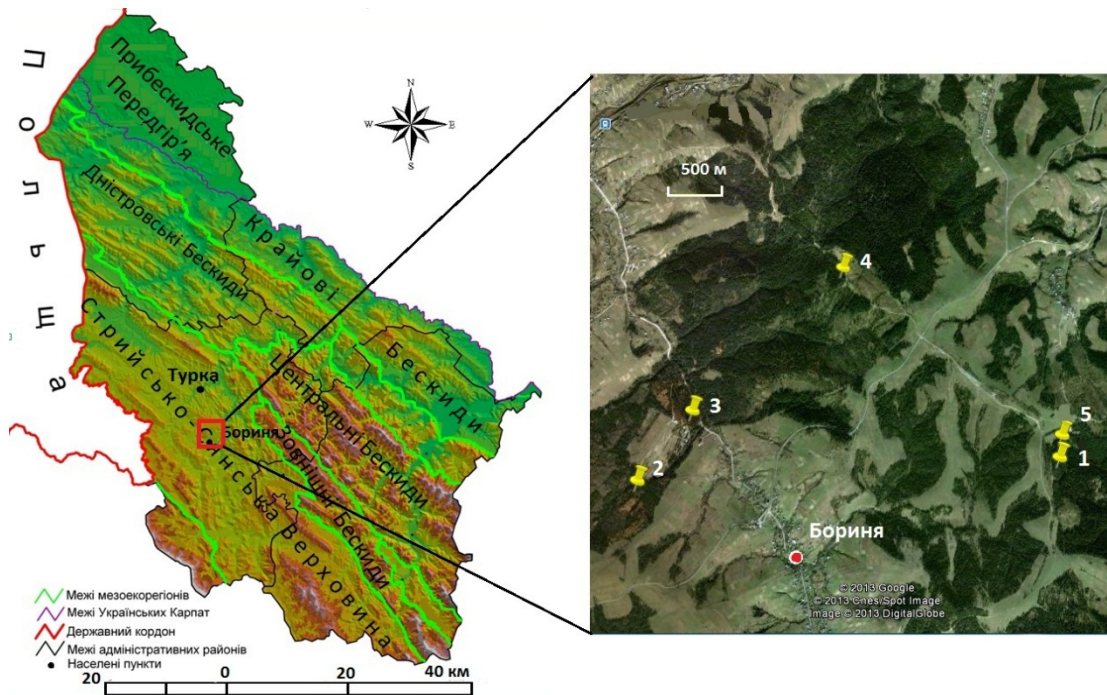


Рис.1. Розташування дослідних ділянок на території Стрийсько-Сянської Верховини: 1 – 30-ти річний ялицево-буковий ялиничок мертвопокровний, 2 – 45-ти річний буковий ялиничок папоротево-ожиновий; 3 – 50-ти річний буково-дубовий ялиничок зеленчуково-ожиновий; 4 – 70-ти річний ялицевий-ялиничок ожиновий; 5 – 110-ти річний буково-ялиновий ялиничок ожиново-папоротевий.

Для дослідних ділянок проведена подеревна таксація за методикою статистичної інвентаризації (Тіннер, 2009) з використанням польової GIS Field-Mar. Для визначення запасів фітомаси деревного ярусу (стовбура деревина) використовували регресійні рівняння (Shvidenco, 1996, Васишин, 2013, Лакида 2011). Приріст гілок і хвої (листя) встановлювали за співвідношеннями від приросту стовбура (Биогеоценотический покров..., 1983). Приріст коріння дерев приймався рівним півсумі поточного приросту стовбурів і гілок (Казимилова и др., 1977). Облік підросту проводили на кругових мікропробах з горизонтальним радіусом 1,78 м (n=5). Масу трав'яно-чагарничкового ярусу з поділом на фракції (листя, пагони) визначали методом укосів у фазі максимального розвитку рослин на площах розміром 1x1 м (n=5). Запас коріння трав'яно-чагарничкового ярусу та коріння деревного ярусу ($d < 1\text{ см}$) визначали методом ґрунтових монолітів об'ємом 1500 см^3 з глибини 0-20 см. Лісову підстилку відбирали шаблоном $25 \times 25\text{ см}$ (n = 25)

Для обліку лежачого стовбурового фітодетриту (ламань) і пнів за 4-ма ступенями (класами) розкладу в межах досліджуваних ділянок закладали пробні площі розміром $3 \times 3\text{ м}$ (n=5). Щільність деревини різних класів розкладу визначали парафіновим методом (Полубояринов, 1973). Оцінка запасу великих гілок (1-7 см) проводили за методом пересічених ліній (Van Wagner, 1968).

Для визначення запасу вуглецю в мінеральній товщі ґрунтів на кожній пробній площі закладали ґрунтові розрізи. Зразки для визначення щільності ґрунту відбирали циліндром ($V = 50,2\text{ см}^3$) в 4-кратній повторності з кожного

горизонту. В ґрунтових зразках також визначали гігроскопічну вологу та гранулометричний склад за Качинським.

Запаси органічної речовини (ОР) в блоці “ґрунт” вивчали за фракціями: легкомінералізуюча органічна речовина (ЛМОР) і стабільний гумус (СТОР). Вміст вуглецю в органічній речовині ґрунту визначали мікрохромовим методом Тюріна (1970). Вміст рухомого органічного вуглецю (C_{POP}) в рослинних і ґрунтових зразках визначали в витяжках після обробки зразків дистильованою водою. Кількість водорозчинного вуглецю ($C_{\text{H}_2\text{O}}$) визначали методом гідролізу гарячою ($75 \pm 2^\circ\text{C}$) і холодною ($18 \pm 2^\circ\text{C}$) водою впродовж 12 год. з наступним біхроматним окисленням екстрагованого C $0,2\text{н } K_2Cr_2O_7$ в H_2SO_4 (Chani, Dexter, Perrott, 2003).

Для обліку опадів деревного ярусу на кожній пробній площі закладали опадовловлювачі $0,5 \times 0,5 \text{ м}^2$ ($n=10$). Відбір зразків проводили щомісячно, протягом вегетаційного періоду. Інтенсивність надходження відпаду визначали з огляду на тривалість стояння сухою ялини (Пирогов, Чирков, 2002).

Визначення емісії CO_2 з поверхні ґрунту проводили в лабораторних умовах при $t +18^\circ\text{C}$ з подальшим перерахунком на середньомісячні температури ґрунту досліджуваних ділянок. Інтенсивність потоку CO_2 з підстилки, 0-20 см шару ґрунту та вклад в емісію кореневого детриту визначали у відібраних ґрунтових монолітах об’ємом 1500 см^3 методом макрореспірометрії з титрометричним закінченням (Иванникова, 1992). Визначення потоку CO_2 з поверхні грубих деревних залишків (CWD) проводили аналогічним методом з використанням камери, в яку поміщали зразки однакового об’єму (I-IV стадії розкладу). Для визначення водорозчинних продуктів розкладу підстилки та їх міграцію ґрунтовим профілем використовували метод “вмонтованих лізиметрів”. Визначення загальної мікробної біомаси проводили регідраційним методом (Благодатский и др., 1987).

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗАПАСІВ ФІТОМАСИ ТА ФІТОДЕТРИТУ В ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ СТРИЙСЬКО-СЯНСЬКОЇ ВЕРХОВИНИ

Блок “фітомаса”

Загальні запаси живої надземної та підземної фракцій фітомаси вторинних екосистем становлять $210,2-384,3 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$ (рис.2). Основна частина фітомаси формується деревним ярусом (до 99%), з якої на стовбури припадає 59-74%. Запаси асиміляційних органів становлять $10,47-16,22 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, 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”. Фітомаса підросту становить $0,93-4,65 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$, трав’яно-чагарничкового та мохового ярусів, відповідно, $0-1,94$ та $0,04-0,28 \text{ т}\cdot\text{га}^{-1}$.

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.

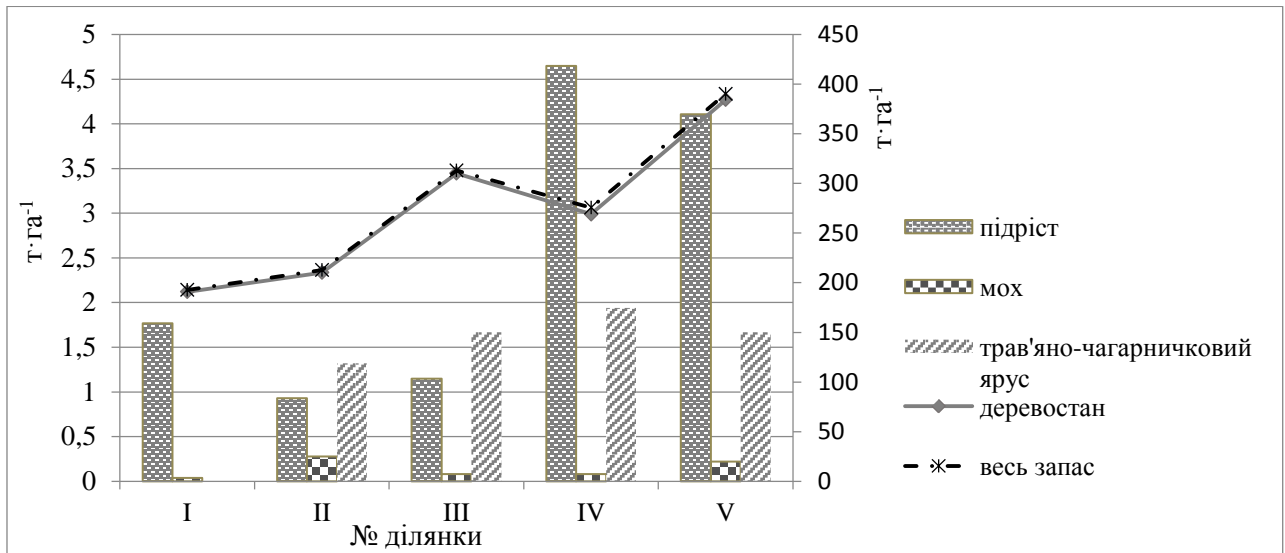


Рис. 2. Запаси основних фракцій фітомаси в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, т·га⁻¹ (назви ділянок див. рис. 1)
Ліва шкала – підріст, моховий ярус, трав'яно-чагарничковий ярус; права шкала - деревний ярус і загальний запас.

Запас фітодетриту

Органічна речовина фітодетриту (лабільна органічна речовина) є одним з основних резервуарів депонованого в лісових екосистемах вуглецю. В досліджуваних екосистемах маса фітодетриту становить 32,33-72,62 т·га⁻¹ (рис.3).

Запаси мертвої деревини змінюються в межах 7-47 т·га⁻¹, основна її маса припадає на ламань і сухостій (99-81%). Запаси підстилки у досліджених екосистемах знаходяться в межах 10-25 т·га⁻¹. Найменші запаси підстилки, з огляду на вік деревостану, були виявлені в умовно корінній екосистемі 110-ти річного буково-ялинового яличника.

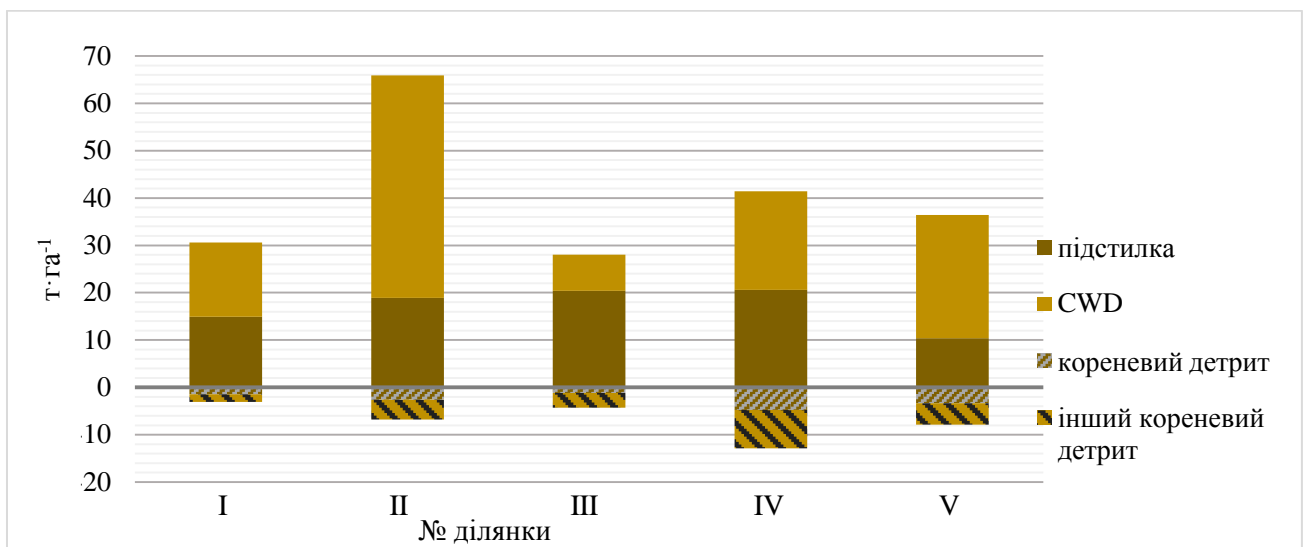


Рис. 3. Запас компонентів фітодетриту в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини т га⁻¹* (назви ділянок див. рис. 1)

У ґрунті досліджуваних екосистем маса кореневого детриту становить 3-13 т·га⁻¹ з максимумом у 70-ти річному ялицевому-ялинику. 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) і ступеня розкладу, в тому числі сильно розкладених залишків коріння та кори.

За показником маси співвідношення компонентів фітодетриту має вигляд: $\text{CWD} > \text{підстилка} > \text{кореневий детрит}$. У загальній масі фітодетриту переважає його акумуляція на поверхні ґрунту. Відмінності в складі та запасі фітодетриту детерміновані, передусім, масою органічного речовини, акумульованої в CWD, де на його частку припадає 24-64%. Основною причиною таких значних запасів є всихання ялини європейської та її низька стійкість до вітровалів. У досліджуваних екосистемах не виявлено залежності запасів мортмаси від віку деревостанів.

Загалом, різниця в запасах фітодетриту в досліджених екосистемах спричинена породним складом деревостанів, передусім, присутністю ялини.

ЗАПАСИ ОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ В ОСНОВНИХ БЛОКАХ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ

Для розрахунків запасів С в фітомасі здерев'янілих частин рослин використовували перерахунковий коефіцієнт 0,5, тоді як для листя, хвої, мохового, трав'яно-чагарничкового ярусів та підстилки – 0,45 (Исаев и др., 1993,1995; Кобак 1988; Уткин и др., 1997). Вміст вуглецю для кореневого детриту був прийнятий на рівні 41% від загальної фітомаси (Кошуринова, 2007). У роботах більшості дослідників зауважується, що вміст вуглецю на різних стадіях розкладу деревного детриту є практично на одному рівні і становить 47 – 52% від загальної маси (Alban, Pastor, 1993; Krankina, Harmon, Griazkin, 1999; Laiho, Prescott, 1999, Odor, Standovar 2003; та ін.). З огляду на це, вміст С в деревному детриті було прийнято на рівні 50%.

Встановлено, що запаси вуглецю в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини варіюють в межах $144,71-271,73 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Частка вуглецю фітомаси становить 52,3-71,3% (табл.1).

Участь фітодетриту в екосистемному пулі $\text{C}_{\text{орг}}$ є найменшою і становить 6,1-17,2%, однак його пул у легкомінералізованому вуглеці екосистеми є основним (до 98,8%), що дозволяє вважати його запаси у вуглецевому балансі вкрай вагомими. Максимальний запас фітодетриту встановлений в екосистемі 45-ти річного букового ялинника, що зумовлено значним вкладом грубих деревних залишків.

Частка запасів $\text{C}_{\text{гумус}}$ 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 процесів мінералізації рухомих форм гумусових сполук, і як результат, гальмують перебіг процесів гуміфікації. Загалом, в досліджуваних екосистемах співвідношення запасів вуглецю між основними компонентами має вигляд $\text{C}_{\text{фітомаса}} > \text{C}_{\text{гумус}} > \text{C}_{\text{фітодетрит}}$, що відповідає змінам їх запасів в межах 52,3-71,3; 23,7-30,5; 6,1-17,2%.

Таблиця 1

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

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

* (назви ділянок див. рис. 1)

Легкомінералізуюча фракція органічної речовини є основним джерелом формування потоку вуглецю до атмосфери у вигляді CO₂. Вона включає органічну речовину рослинних решток на поверхні і в ґрунтовій товщі, а також рухоми частину гумусових сполук (Ведрова, 2002; Титлянова, 1999). Запас вуглецю у фітодетриті та 50-ти см шарі ґрунту досліджуваних екосистем змінюється від 16,24 до 36,11 т·га⁻¹ C_{LMOP} , що становить 18,8-37,4 % від загального вуглецю ґрунтового блоку.

Основна частина фракції представлена рослинними залишками (фітодетритом ($C_{ЛОР}$)). На частку рухомих форм вуглецю C_{POB} фітодетриту і гумусу залежно від екосистеми припадає 3,8-8,6% від C_{LMOP} .

ІНТЕНСИВНІСТЬ ОСНОВНИХ ОБМІННИХ ПОТОКІВ ЦИКЛУ ВУГЛЕЦЮ

Асиміляція вуглецю в чистій первинній продукції

Аналіз фракційної структури річного приросту вуглецю 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 вуглецю фітомаси – питома річна продукція (Каменецкая, 1970, 1971; Кулагина, 1978; та ін.).

У досліджуваних екосистемах найбільшим питомим приростом вуглецю фітомаси характеризуються 30-ти і 45 ти річні деревостани – відповідно 5 і 5,3 %

Питома частка приросту хвої серед усіх досліджуваних екосистем є найвищою і знаходиться в межах 14,4-24,7%. У 50-ти річному буково-дубовому ялиннику питомий приріст становить 3,7%. У 70-ти річному ялицевому ялиннику спостерігається збільшення приросту порівняно з 50-ти річним річним буково-дубовим ялинником, 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.

Сумарна інтенсивність акумулявання вуглецю коливається від 4,73 до 7,12 т·С·га⁻¹ (табл. 2). 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.

Таблиця 2

Інтенсивність акумулявання вуглецю в чистій первинній продукції в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини, т·га⁻¹ рік⁻¹

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

* (назви ділянок див. рис. 1)

Участь підросту в формуванні вуглецю є незначною і становить 0,5-3,3% від його загальної асиміляції рослинними угрупованнями. Частка трав'яно-чагарничкового ярусу в загальному прирості становить від 0 до 10% та збільшується із збільшенням віку деревостанів. Загалом, у досліджених екосистемах із збільшенням віку спостерігається зростання частки приросту С в підрості й трав'яно-чагарничковому ярусі, що відповідає твердженню про розвиток екосистеми в напрямку стабілізації, що в свою чергу забезпечується своєрідною компенсацією загальної продукції вуглецю за рахунок різних ярусів рослинності.

Відмирання фітомаси

У досліджуваних екосистемах величина річного опаду і відпаду, що надходить на поверхню і в товщу ґрунту, становить 6,16-9,92 т·га⁻¹ (табл.3), що відповідає 1,6-4,1% фітомаси. Основна частина надходження рослинних решток припадає на опад деревного ярусу (73-89%). Частка трав'яно-чагарничкового становить від 0 до 11%.

Найбільші значення надходження опаду надземних органів деревного ярусу були встановлені в 70-ти річному ялицевому ялиннику – 5,52 т·га⁻¹·рік⁻¹, найменші у 30-ти річному ялицево-буковому ялиннику – 4,13 т·га⁻¹·рік⁻¹. На усіх досліджених пробних площах основна маса опаду надземних органів деревного ярусу припадає на хвою (листя) 48-79%, частка гілок і плодів становить, відповідно, 15-20 та 1-8%

Таблиця 3

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

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

* (назви ділянок див. рис. 1)

У досліджених лісах протягом року відмирає від 0,45 до 1,16 т·га⁻¹ коріння, що становить 1,1-2,3% його загального запасу. Коренева система

трав'яно-чагарничкового ярусу, незважаючи 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.

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 (Титлянова, 1977; Орлов, 1985; Ведрова, 2002, 2005 та ін). Сумарний мінералізаційний потік С-СО₂ в лісових екосистемах формується за рахунок розкладу підстилки, грубих деревних залишків (CWD), ґрунтового фітодетриту та мінералізації лабільних форм гумусу. Ступінь мінералізації органіки може бути оцінений через СО₂, що виділяється в екосистемі за рік, тобто через величину гетеротрофного дихання (Resp). В результаті сумарний мінералізаційний потік або гетеротрофне дихання розраховується як:

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

Визначення емісії СО₂ грубими деревними залишками оцінювали за мінералізацією деревини ламані ялини, різних стадій розкладу (I-IV). В результаті проведених досліджень, встановлено, збільшення емісії С-СО₂ від першої до четвертої стадії розкладу деревини з 0,71 до 17,28 мг·С-СО₂·кг·год⁻¹ (рис.3). Також виявлено тісний кореляційний зв'язок між емісією С-СО₂ з ламані і вмістом у ній рухомих сполук вуглецю ($r = 0,84$).

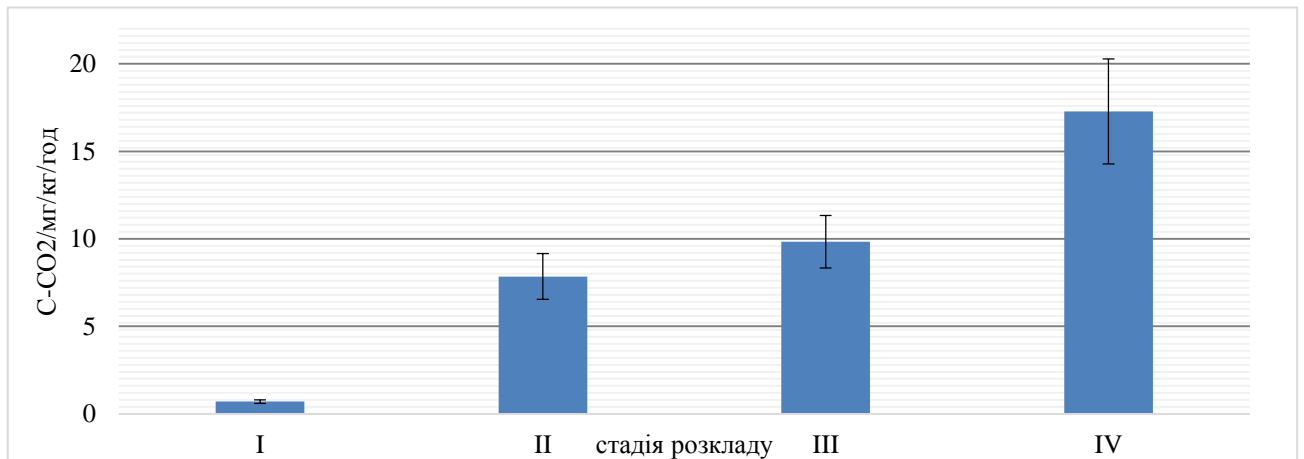


Рис.4. Інтенсивність виділення С-СО₂ із ламані в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (назви ділянок див. рис 1)

Дослідженнями емісії діоксиду вуглецю з шару ґрунту (0-20 см) встановлено, що найбільші показники продукування СО₂ були характерними для екосистеми 70-ти річного ялицевого ялинника – 3,6 г·С-СО₂·м⁻²·доба⁻¹ (табл. 4). Вважаємо, що це передусім зумовлене кількісними та якісними показниками органічного вуглецю як у підстилці, так і в ґрунті, що визначають функціонування деструкційних комплексів (табл.1). Схожу залежність виявлено в усіх зразках ґрунтових монолітів. Встановлено наявність тісного

кореляційного зв'язку із вмістом рухомого вуглецю в ґрунті та інтенсивністю виділення С-СО₂ (R=0,91).

Таблиця 4

Виділення С-СО₂ з поверхні ґрунту (0 - 20 см) в досліджуваних екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини г·С-СО₂·м⁻²·доба⁻¹

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

* (назви ділянок див. рис. 1)

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-СО₂·га⁻¹·рік⁻¹. Основна частина потоку вуглецю в атмосферу формується в результаті мінералізації підстилки і рухомих форм гумусу ґрунту. (рис.5). На частку виділення діоксиду вуглецю внаслідок 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 у загальне гетеротрофне дихання становить від 1,2 до 12%.

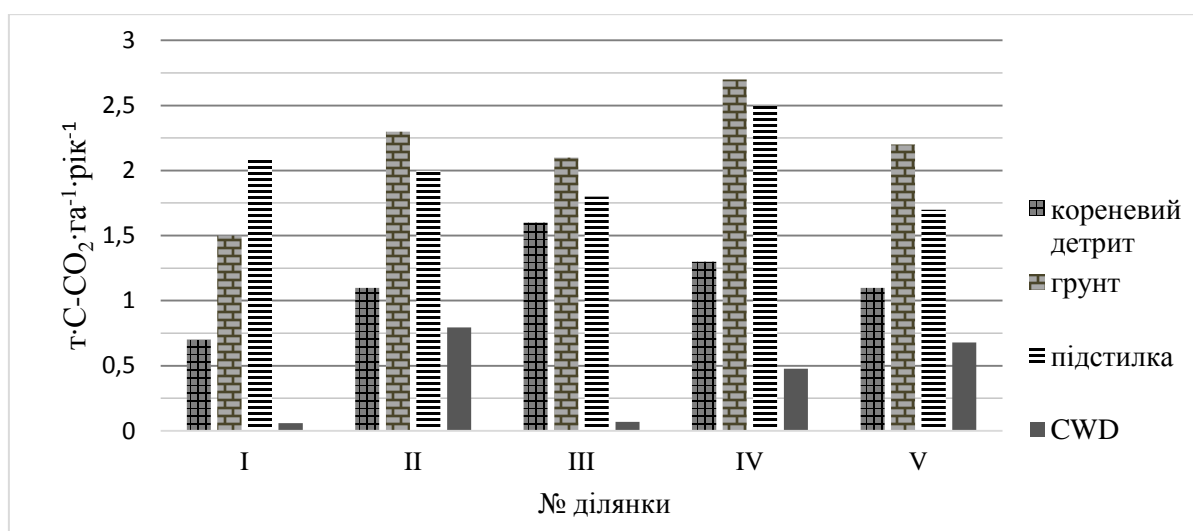


Рис.5 Інтенсивність виділення СО₂ компонентами ґрунтового блоку в досліджуваних лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини т·С-СО₂·га⁻¹·рік⁻¹, (назви ділянок див. рис.1)

Інтенсивність процесів, які формують запаси надґрунтового фітодетриту

Опад 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 т·С·га⁻¹, що становить 1,4-3,5% від надземної фітомаси екосистем. Подібні результати представлені іншими дослідниками (Ремезов, 1959; Ведрова, 1997; Казимиров и др., 1977). Втрати вуглецю від розкладу фітодетриту становлять 44-93% від його надходження (табл. 5). Отже, в усіх екосистемах спостерігається збільшення запасів фітодетриту протягом року. В основному воно є незначне — від 0,22 до 0,92 т·С·га⁻¹, винятком є екосистема 50 - ти річного буково-дубового ялиника (2,41 т·С·га⁻¹), причиною цього є значне надходження опадів деревного ярусу та сповільнені темпи розкладу підстилки.

Баланс (надходження-мінералізація) запасів дебрису в усіх досліджуваних екосистемах є близьким до нуля і змінюється від -0,39 до +0,67 т·С·га⁻¹. Зменшення запасів протягом року виявлені в екосистемах 70 - ти і 110 - ти річних деревостанів відповідно -0,24 та -0,39 т·С·га⁻¹; це пов'язано з більшими запасами ламані останніх стадій розкладу, які в свою чергу, вивільняють С-СО₂ в декілька разів інтенсивніше, порівняно із початковими стадіями розкладу (рис.4). Збалансованими в цих екосистемах є процеси, що формують запаси підстилки: -0,05 – +0,84 т·С·га⁻¹, за винятком екосистеми 50-ти річного буково-дубового ялиника, де протягом року накопичується – 2,27 т·С·га⁻¹.

Таблиця 5

Інтенсивність процесів, що формують запас надґрунтового фітодетриту т·С·СО₂·га⁻¹·рік⁻¹

| Процес | *№ ділянки | | | | |
|---|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| | I | II | III | IV | V |
| Надходження | 2,79 | 3,73 | 4,3 | 3,23 | 2,8 |
| опад | 2,07 | 2,88 | 4,11 | 2,99 | 2,51 |
| відпад | 0,72 | 0,85 | 0,19 | 0,24 | 0,29 |
| Вивільнення | 2,18 | 2,84 | 1,91 | 3,04 | 2,42 |
| мінералізація підстилки | 2,1 | 2 | 1,8 | 2,5 | 1,7 |
| мінералізація дебрису | 0,06 | 0,8 | 0,07 | 0,48 | 0,68 |
| Вимивання СН ₂ О з підстилки | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,04 |
| Баланс (доповнення-зменшення) | 0,61 | 0,89 | 2,39 | 0,19 | 0,38 |
| підстилка | -0,05 | 0,84 | 2,27 | 0,43 | 0,77 |
| дебрис | 0,67 | 0,05 | 0,12 | -0,24 | -0,39 |
| Баланс, % від Сфітодетриту | 4,24 | 2,86 | 18,52 | 1,14 | 2,27 |

* (назви ділянок див. рис. 1)

Для визначення кількості міграції рухомого С з підстилки, були встановлені лізиметри. Зафіксовано, що величина міграції вуглецю з підстилки є незначною ($0,02-0,06 \text{ т}\cdot\text{С}_{\text{пор}}\cdot\text{га}^{-1}$) та становить $0,9 - 2,1\%$ від втрат С підстилкою.

Отже, в досліджуваних екосистемах спостерігається збалансованість потоків що формують запас фітодетриту, про що свідчить незначна частка збільшення фітодетриту протягом року від його загальних запасів – $0,97 - 4,19\%$. Винятком є екосистема 50-ти річного буково-дубового ялинника ($18,40\%$). Надалі екосистеми 30-ти і 45-ти річних деревостанів, в яких запаси сухоостою і ламані початкових стадій розкладу є значними, спостерігатиметься збільшення темпів ксилілізу CWD, що, ймовірно, призведе до змін у балансі процесів, які формують запаси фітодетриту за рахунок збільшення потоку $\text{С} - \text{CO}_2$.

ЧИСТА ЕКОСИСТЕМНА ПРОДУКЦІЯ ТА БАЛАНС ВУГЛЕЦЮ

Отримані результати мінералізації органічної речовини і величини NPP дозволяють проаналізувати баланс вуглецю в екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (рис.6).

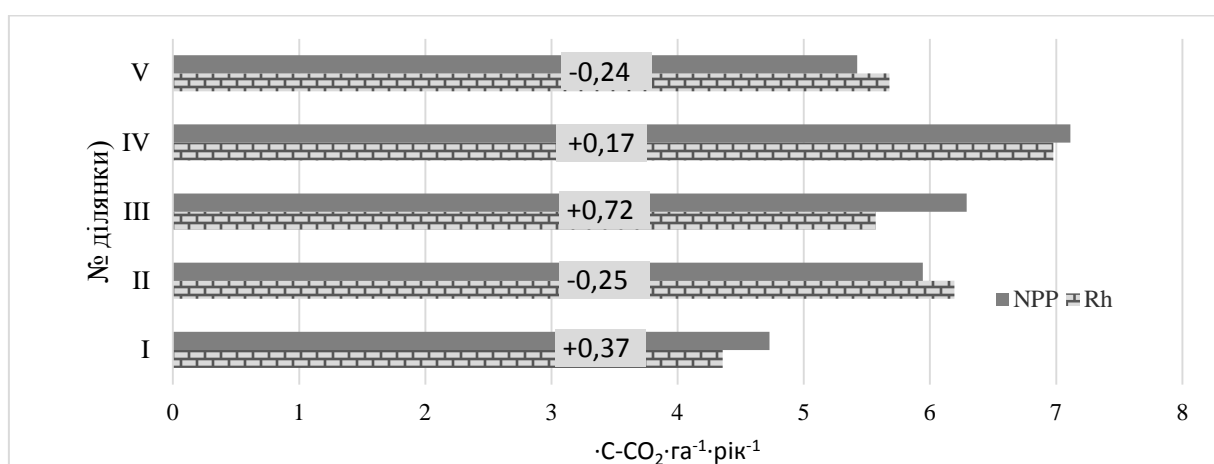


Рис.6 Інтенсивність основних потоків вуглецевого циклу в екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини $\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$.

Цифри на стовпцях відповідають величині NEP $\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$.

Так, у процесі фотосинтезу в фітомасі екосистеми 30-ти річного ялицево-букового ялинника мертвопокривного формується $4,72 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$. При мінералізації фітодетриту в атмосферу вивільняється $4,36 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{га}^{-1}$. Таким чином, ця екосистема є стоком для $0,4 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{га}^{-1}$ з атмосфери, що становить 9% від приросту фітомаси.

Інше співвідношення продукційно-деструкційних процесів виявлене в екосистемі 45-ти річного букового ялинника папоротево-ожинового, де інтенсивність потоку Resp перевищує на 5% продукцію. Вагомий внесок у сумарний мінералізаційний потік забезпечує ламань, запаси якої сформувалися внаслідок вітровалу. На момент дослідження ця екосистема є джерелом емісії вуглецю в атмосферу - $0,25 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{га}^{-1}$.

Екосистема 50-ти річного буково-дубового ялинника зеленчуково-ожинового функціонує як стік вуглецю з атмосфери. Чиста екосистемна продукція серед досліджуваних екосистем тут є найбільшою і становить $0,72$

$\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{га}^{-1}$, що еквівалентно 12% від NPP. Це, насамперед, пов'язано з уповільненими процесами розкладу підстилки.

Найбільшою інтенсивністю та збалансованістю процесів, що формують NPP і Resp, характеризується екосистема 70-ти річного ялицевого-ялиничка папоротево-ожинового, відповідно 7,12; 6,95 $\text{т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}$; NEP становить +0,17 т вуглецю протягом року.

У 110-ти річному буково-ялиновому яличнику квасеницево-ожиново-зеленчуковому виявлено від'ємний вуглецевий баланс — $-0,24 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$. В основному, це пов'язано з меншою величиною NPP, що зумовлене менш ефективною фотосинтетичною асиміляцією.

У досліджуваних екосистемах зі збільшенням віку деревостанів частка NPP деревного ярусу зменшується з 98,7 у 30-ти річному ялицево-буковому ялиничку до 86,8% у 110-ти річному буково-ялиновому яличнику, що зумовлене як зменшенням ефективності фотосинтетичної асиміляції деревостанів, так і збільшенням величини NPP нижніх ярусів. Також у досліджуваних екосистемах збалансованими є процеси, що формують запас фітодетриту. Винятком є екосистема 50-ти річного буково-дубового ялиничка. Величина вуглецю перколяційних вод, що виносяться з нижніх ґрунтових горизонтів є незначною $< 0,01 \text{ т}\cdot\text{С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{рік}^{-1}$.

Висновки

На підставі польових і 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 $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$. Основна частина фітомаси (до 99%) формується деревним ярусом, з якого на стовбури припадає 59-74%. Запаси асиміляційних органів становлять 10,47 - 16,22 $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$, 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 $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$, трав'яно-чагарничкового ярусу – 0-1,94 $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$, тоді як мохового ярусу – лише 0,04-0,28 $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$. 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 $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$. 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⁻¹. 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 $C_{\text{ФІТОМАСА}} > C_{\text{ГУМУС}} > C_{\text{ФІТОДЕТРИТ}}$. Частка запасу $C_{\text{ГУМУС}}$ в 50 см шарі ґрунту від загального вуглецю екосистеми становить 23,7-30,5%. Найменші показники запасів $C_{\text{Гумус}}$ були 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⁻¹·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·СО₂·га⁻¹·за рік за частки мінералізаційного потоку внаслідок рахунок розкладу фітодетриту на рівні 34-50%, більша частина якого - емісія СО₂ з лісової підстилки (від 71-97%). Інтенсивність вивільнення СО₂ з поверхні дебрису залежить від ступеня його розкладу та становить від 0,71 до 17,28 мг·С·СО₂·кг·год⁻¹.

Величина мінералізації вуглецю гумусових сполук залежить від кількості рухомого вуглецю у ґрунті (коефіцієнт лінійної кореляції між Resp і $C_{\text{РОР}}$ – 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⁻¹·рік⁻¹, 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 ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в іноземних виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази РИНЦ

1. Рожак В.П. Динамика древесного опада в лесных экосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати) / І.М Шпаківська, **В.П. Рожак** // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов – 2014. – №1. С. 175-179. *(Здобувачем проведено збір та обробку матеріалу, експериментальні дослідження, їх статистичне опрацювання, та аналіз отриманих результатів)*

Статті у фахових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз даних

2. Рожак В.П. Запаси й елементний склад опаду та підстилки в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати). / **В.П. Рожак**, В.І. Козловський // Вісник ЛНУ ім. Івана Франка. Серія біологічна. 2013. Випуск 62. – С. 160–169. *(Здобувачем проведено збір матеріалу, їх статистичне опрацювання, та аналіз отриманих результатів).*

3. Рожак В.П. Особливості формування запасів фітомаси лісових екосистем Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати). / І.М. Шпаківська, **В.П. Рожак** // Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – Випуск. 23.18. – С. 9-17. *(Здобувачем проведено збір та обробку матеріалу, їх статистичне опрацювання, та аналіз отриманих результатів).*

4. Рожак В.П. Пули і потоки вуглецю в лісових Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати). / **В.П. Рожак** // Наукові записки. Біологія і валеологія. – 2014. – Вип. 16. – С. 85-95

Статті у фахових виданнях України, які входять до переліку МОН України

5. Рожак В.П. Особливості формування запасів мертвої деревини в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати). / **В.П. Рожак** // Вісник ТНПУ ім. Володимира Гнатюка. Серія біологія. – 2014. Випуск 2 (59). – С. 18 – 24.

Матеріали наукових конференцій

6. Рожак В.П. Актуальні проблеми дослідження циклу вуглецю в лісових екосистемах: матеріали 9-ї наукової конференції молодих вчених [“Наукові основи збереження біотичної різноманітності”], (Львів, 1-2 жовтня 2009 р.) / **В.П. Рожак** : – Львів 2009 – С. 169-171 .

7. Рожак В.П. Оценка пула микробной биомассы в буроземах лесных экосистем Украинских Карпат: матеріали 14-ї міжнародної Пущинської школи-конференції [“Биология наука 21 века”], (Пушино, 19 - 23 апреля 2010 г.) / **В.П. Рожак**: – Пушино 2010 – С. 70-71.

8. Рожак В.П. Водорозчинний вуглець в буроземах лісових екосистем Стрийсько-Сянської Верховини. (Українські Карпати): матеріали 10-ї наукової конференції молодих вчених [“Наукові основи збереження біотичної різноманітності”], (Львів, 7-8 жовтня 2010 р.) / **В.П. Рожак** : – Львів 2010 – С. 144-146 .

9. Рожак В.П. Оцінка динаміки деревного опаду, як частини вуглецевого балансу в лісовому біогеоценозі Стрийсько-Сянської Верховини: матеріали 4-ї

наукової конференції молодих учених [“Актуальні проблеми дослідження довкілля”], (Суми, 19-21 травня 2011 р.) / **В.П. Рожак**: – Суми 2011 – С. 137-139.

10. Рожак В.П. Рухомий вуглець фітодетриту лісових екосистем Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати): матеріали I-ї (XII) наукової конференції молодих вчених [“Наукові основи збереження біотичної різноманітності”], (Львів, 21-22 травня 2015 р.) / **В.П. Рожак** : – Львів 2015 – С. 192-194.

11. Рожак В.П. Емісія вуглецю від розкладу грубих деревних залишків в лісових екосистем Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати): збірник наукових праць [“V-ий всеукраїнський з’їзд екологів з міжнародною участю”], (Вінниця, 23-26 вересня 2015 р.) / **В.П. Рожак**: – Вінниця 2015. – С. 133.

12. Рожак В.П. Вуглець мікробної біомаси буроземів лісових екосистем Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати): матеріали I-ї всеукраїнської конференції з міжнародною участю [“Біологія та екологія ґрунтів”], (Львів, 14-16 жовтня 2015 р.) / **В.П. Рожак** : – Львів 2015. – С. 70-71.

АНОТАЦІЇ

Рожак В. П. Цикл вуглецю в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської верховини (Українські Карпати)

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 – екологія. – Інститут екології Карпат НАН України, Львів, 2015.

На прикладі типових лісових екосистем Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати) встановлено основні параметри циклу вуглецю, зокрема його запаси та інтенсивність обмінних потоків між ними. Оцінено запаси вуглецю фітомаси деревного ярусу та підросту з використанням методу подеревної таксації деревного ярусу та модельних дерев підросту, а також запаси вуглецю надґрунтової фітомаси та фітодетриту з урахуванням грубих деревних залишків методом суцільного обліку, що дало можливість оцінити загальні запаси вуглецю живої та мертвої фітомаси. Розподіл С між основними блоками екосистеми має вигляд: $C_{\text{ФІТОМАСА}} > C_{\text{ГУМУС}} > C_{\text{ФІТОДЕТРИТ}}$.

Оцінено величину лабільного та стабільного пулів вуглецю, а також його міграцію перколяційними водами з підстилки та верхніх ґрунтових горизонтів. Визначено інтенсивність фотосинтетичної асиміляції компонентами фітомаси, що дало можливість оцінити річну величину NPP. Визначено динаміку й інтенсивність надходження опаду, оцінено співвідношення надходження та мінералізацію надґрунтового фітодетриту. З урахуванням грубих деревних залишків різних стадій розкладу та кореневого детриту, встановлено роль окремих компонентів блоку “фітодетрит” і “ґрунт” в емісію вуглецю. Встановлено тісний кореляційний зв'язок між вмістом рухомого органічного вуглецю та інтенсивністю мінералізації компонентів фітодетриту та ґрунту. З урахуванням гідротермічних показників в досліджуваних екосистемах встановлено річну емісію CO₂. Розраховано річний баланс та величину чистої екосистемної продукції.

Досліджувані екосистеми функціонують як "стік" атмосферного вуглецю й як джерело його емісії. Однак, величина NEP є незначною від $-0,25$ до $+0,72$ $\text{т} \cdot \text{С} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$

Ключові слова: лісові екосистеми, фітодетрит, фітомаса, ґрунт, вуглець, NPP, Resp, NEP, Українські Карпати

АННОТАЦІЯ

Рожак В. П. Цикл углерода в лесных экосистемах Стрийско-Сянской Верховины (Украинские Карпаты)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.16 – экология. – Институт экологии Карпат НАН Украины, Львов, 2015.

На примере типичных лесных экосистем Стрийской-Сянской Верховины (Украинские Карпаты) установлены основные параметры цикла углерода, в частности его запасы и интенсивность обменных потоков между ними. Оценено запасы углерода фитомассы древесного яруса и подроста с использованием метода подеревной таксации древесного яруса и модельных деревьев подроста, а также оценено запасы углерода напочвенной фитомассы и фитодетрита, что дало возможность оценить общие запасы углерода живой и мертвой фитомассы. Распределение С между основными блоками экосистемы имеет вид $C_{\text{ФИТОМАСА}} > C_{\text{ГУМУС}} > C_{\text{ФИТОДЕТРИТ}}$.

Оценено величину лабильного и стабильного пулов углерода, а также его миграцию перколяционными водами с подстилки и верхних почвенных горизонтов. Определена интенсивность фотосинтетической ассимиляции компонентами фитомассы, что позволило оценить годовую величину NPP. Определена динамика и интенсивность поступления опада, оценено соотношение поступления и минерализации напочвенного фитодетрита. С учетом грубых древесных остатков различных стадий разложения и корневого детрита, установлена роль отдельных компонентов блока "фитодетрит" и "почва" в эмиссии углерода экосистемы. Установлена тесная корреляционная связь между содержанием подвижного органического углерода и интенсивностью минерализации компонентов фитодетрита и почвы. С учетом гидротермических показателей в исследуемых экосистемах установлена годовая эмиссия CO_2 . Рассчитано годовой баланс и величину чистой экосистемной продукции.

Исследуемые экосистемы функционируют как "сток" атмосферного углерода и как источник его эмиссии. Однако величина NEP незначительная от $-0,25$ до $+0,72$ $\text{т} \cdot \text{С} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Ключевые слова: лесные экосистемы, фитодетрит, фитомасса, почва, углерод, NPP, Resp, NEP, Украинские Карпаты.

Rozhak V. Carbon cycle in forest ecosystems of Stryi-San Highland (Ukrainian Carpathians)

Thesis submitted for the degree of Ph.D. in Biological Sciences, speciality 03.00.16 – Ecology. Institute of Ecology of the Carpathians National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, 2015

The main parameters of the carbon cycle of five typical forest ecosystems of Stryi-San Highland, particularly its reserves and intensity of flows exchange between them were investigated. Biomass carbon stocks of tree layer were investigated by using the method of each tree inventory and undergrowth by the method of model trees. Also overground phytomass, phytodetritus biomass carbon stock were valued. It gave an opportunity to estimate total pools of carbon in living and dead biomass. Total reserves of underground and aboveground of living biomass of Stryi-San Highland are changing from 210,2 to 384,3 t·ha⁻¹. Phytodetritus mass varies from 32,33 to 72,62 t·ha⁻¹. The difference in phytodetritus stocks was caused by species composition of forest stands namely the presence of spruce stand in the composition in investigated territory of Stryi-San Highland is the least resistant to diseases, windfalls, that promotes increase of phytodetritus stocks in the studied ecosystems.

C distribution between main ecosystem blocks looks like $C_{\text{PHYTOMASS}} > C_{\text{HUMUS}} > C_{\text{PHYTODETRITUS}}$.

Phytodetritus part in the ecosystem C pool is the smallest (6,1-17,4%) but in easily mineralizable carbon is primary from 96,5 to 98,8%. that makes its reserves extremely significant in the carbon balance. Maximum stock was found in 45-year old beech-spruce stands, due to a significant contribution of coarse woody debris.

The value of lizimetric carbon water, infiltrated from litter varies from 0,02 to 0,06 t·C·ha⁻¹·yr⁻¹ from horizon 0-20 cm, is insignificant <0,01 t·C·ha⁻¹ yr⁻¹. Dynamics and intensity of litterfall were estimated. The value of income and mineralization of underground phytodetritus were defined.

Per year litterfall income is from 2,79 to 4,30 t·C·ha⁻¹, which is 1,4-3,5% of the aboveground biomass of studied ecosystems. Considering hydrothermal indicators the annual CO₂ of studied ecosystems were counted.

Heterotrophic respiration intensity varies from 4,36 to 6,98 t·CO₂·C·ha⁻¹ per year. Phytodetritus CO₂ flux takes 34-50% from the whole heterotrophic ecosystem respiration where 71-97% of CO₂ emissions is produced by litter. CO₂ flux from the coarse woody debris is 0,71-17,28 mg·C·CO₂·kg·h⁻¹, and depends on decomposition stage. Significant correlation between movable organic carbon content and intensity of mineralization of phytodetritus components and soil were found.

The intensity of photosynthetic biomass assimilation of the components was determined, making it possible to estimate the annual value of NPP. Net Primary Production of forest ecosystems is 4,73-7,12 t·C·ha⁻¹ and main part of it is assimilated by the tree layer from 87% in 110 year old to 99% in the 30 year-old stands. Participation of undergrowth and regrowth, in the formation of carbon is low – 0,03-0,19 t·C·ha⁻¹, which is 0,6-3,1% of the total ecosystem carbon assimilation. Share of grass layer in the total increment ranged from 0 to 9.8%, and increases with the age of stands. NPP of lower layers depends on crone density of tree layer and their phytomass.

The results of Heterotrophic respiration and NPP values give an opportunity to determine the quantity of NEP.

Investigated ecosystem function as a "stack" of atmospheric carbon and as a source of its emission. However, the value of NEP is insignificant – -0,25-0,72 t·C·ha⁻¹·yr⁻¹

Keywords: forest ecosystems, phytodetritus, phytomass, soil carbon, CO₂, NPP, Resp, NEP, Ukrainian Carpathians