ЗАПАСИ ТА СТРУКТУРА ГРУБИХ ДЕРЕВНИХ ЗАЛИШКІВ ТА ЇХ РОЛЬ У ФОРМУВАННІ РЕЗЕРВУАРУ ОРГАНІЧНОГО КАРБОНУ В ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ КАРПАТСЬКОГО НПП)

Володимир Петрович Рожак
Ірина Миронівна Шпаківська
Микола Іванович Папіш

Рожак В.П., Шпаківська І.М., Папіш М.І. Запаси та структура грубих деревних залишків та їх роль у формуванні резервуару органічного карбону в лісових екосистемах Карпатського НПП // Наукові основи збереження біотичної різноманітності. – 2017. – Том 8(15), № 1. – С. 83-96. – ISSN 2220-3087.

Дослідження, проведені в лісових екосистемах Говерлянського ПОНДВ, виявили, що зі збільшенням висоти над рівнем моря змінюється співвідношення запасів Карбону грубих деревних залишків між стадіями розкладу зі збільшення частки мертвої деревини останніх стадій розкладу, що зумовлено кліматичними особливостями досліджуваної території. Для досліджуваних лісових екосистем Говерлянського ПОНДВ Карпатського НПП віком 100-120 років встановлена значна варіабельність запасів Карбону мертвої деревини (від 4,2 до 21,2 т·С·га$^{-1}$). Основним структурним компонентом мертвої деревини, який зумовлює таку варіабельність, є запаси ламані. Виявлено середній кореляційний зв'язок між запасами ламані та великими гілками (r=0,36) та сильний – між запасами ламані та пнів (r=0,78), що є свідченням інтенсивності мінералізації цих компонентів CWD в умовах високогір'я. Встановлено, що при розрахунках запасів органічного Карбону CWD з використанням щільності деревини живого дерева значення запасів є більшими в 1,3-2,2 рази в залежності від породи та її стадії розкладу. Зважаючи на це, вважаємо за необхідне при розрахунках балансу Карбону в лісових екосистемах враховувати щільність деревини для зменшення неточностей, пов'язаних з використанням лише морфометричних показників для оцінки як пулу мертвої деревини, так і кількості CO2, який виділяється в разі її мінералізації. Отримані дані запасів Карбону мертвої деревини та зміна їх щільності під впливом ксилолізу будуть використані для параметризації математичних моделей під час розрахунків запасів органічного Карбону в лісових екосистемах високогір'я Українських Карпат та їх ролі у вуглецевому балансі регіону.

Ключові слова: лісові екосистеми, грубі деревні залишки, Карбон, ксилоліз, Українські Карпати

Важливу роль у біогеохімічному циклі вуглецю лісових екосистем відграє відмерла частина блоку фітомаси з повільною або середньою швидкістю розкладу, значну частину якої, поряд із лісовою підстилкою, формують запаси мертвої деревини. Грубі деревні залишки (coarse woody debris (CWD) або мертва деревина (dead wood) – це частина фітомаси лісових екосистем, яка надходить на поверхню ґрунту внаслідок відмирання рослинного матеріалу чи проведення лісогосподарських заходів (Field Measurements…, 2008). Вони відіграють важливу роль у структурі та функціонуванні лісових екосистем. У біогеохіміч-

© В.П. Рожак, І.М. Шпаківська, М.І. Папіш

ному аспекті мертва деревина формує актуальні запаси та потоки вуглецю до атмосфери внаслідок її мінералізації, а також є джерелом утворення органогенних горизонтів лісової підстилки (Мухортова, Ведрова, 2012).

Процес накопичення мертвої деревини в лісових екосистемах залежить від біотичних, абіотичних та антропогенних факторів. У лісах природно-заповідного фонду, зокрема заповідниках, у яких не проводяться лісогосподарські заходи, обсяги мортмаси можуть становити до 50% запасу деревостану. Разом із тим, у лісах, де систематично здійснюють лісогосподарські заходи, частка грубих деревних залишків становить не більше 10-20% запасу фітомаси (Dudley, Vallauri, Lazarova, 2004; Швиденко, Щепаченко, Нильссон, 2009).

У дослідженнях щодо поглинання вуглецю, мертва деревина визнається важливим компонентом для збереження запасів Карбону. Наприклад, у США 14% загального запасу органічного Карбону зосереджено в мертвій деревині (Woodall, Heath, Smith, 2008).

Грубі деревні залишки через свої розміри розглядаються як значний пул Карбону лісових екосистем, який повільно піддається біодеструкції. Запаси органічної речовини CWD визначаються продуктивністю насаджень, пов'язаною з географічним розташуванням, віком деревостану й умовами розкладу рослинних залишків (Radtke et al., 2004; Woodall, Liknes, 2008).

Натепер переважна більшість досліджень стосуються, як правило, запасів CWD (Saniga, Schütz 2002; Rahman et al., 2008; Sefidi, Mohadjer, 2010 та ін.). Проте зазначається, що під час розкладу CWD втрачає не тільки об'єм, а й масу та щільність (Krankina, Harmon, 1995; Harmon et al., 2000; Coomes et al., 2002). Тому для коректної оцінки запасу CWD та їх ролі як резервуару органічного Карбону окрім біометричних характеристик (діаметр, довжина, клас розкладу) потрібні додаткові параметри, а саме – щільність відповідного класу розкладу та кількість Карбону в CWD.

Дослідження запасів деревної ламані на території України проведені для лісів за участі берези та осики на території Полісся (Білоус, 2014; Ковбаса, 2014), сосни, дуба та липи для південного сходу (Пастернак, 2011), ялини на території Стрийсько-Сянської Верховини в Українських Карпатах (Рожак, 2014) та букових пралісів угольського масиву Карпатського біосферного заповідника (Чернявський, Іжик, 2014). У цих працях наголошено, що методологія обліку змін резервуару мертвої деревини для України опрацьована менше, ніж облік змін фітомаси, лише започатковано наукові дослідження кількісних і якісних показників, а результати у більшості цих досліджень не враховують щільності різних класів розкладу, що ускладнює перерахунок на вагові показники. З огляду на це, для території карпатського регіону загалом, а природоохоронних територій зокрема, актуальним залишається встановлення обсягів депонування органічного Карбону в грубих деревних залишках природних лісів в умовах висотної поясності. Модельним полігоном для таких досліджень було обрано Говерлянське ПОНДВ Карпатського НПП з метою встановлення

структури та запасів CWD у різних абіотичних умовах і впливу зміни щільності різних класів їх розкладу на запаси органічного Карбону.

Матеріали та методика досліджень

Територія досліджень приурочена до Говерлянського природоохоронного науково-дослідного відділення, загальна площа якого становить 5570 га, з яких вкритої лісом – 4532 га (81,4%). Клімат – помірно-континентальний зі значною середньорічною кількістю опадів (944 мм). Середньорічна температура повітря становить +4,3 °С, а тривалість вегетаційного періоду – 195 днів. За геоботанічним районуванням це – район ялинових і ялицево-буково-ялинових лісів (Голубец, Малиновский, Стойко, 1965).

Висотна поясність рослинного покриву сформована трьома зональними смугами:

1) буково-ялицевих лісів із домішкою ялини (900-950 м н.р.м.), невелика суцільна смуга яких розташована на західних схилах ур. Озірний та на північно-східних схилах уздовж лівого берега р. Прут поблизу ур. Бабина Яма. Основний тип лісу – волога ялиново-букова суяличина (середній запас деревини – 920 $м^3 \cdot га^{-1}$; середній приріст – 8,5 $м^3 \cdot га^{-1}$);

2) буково-ялицево-ялинових лісів (950-1050 м н.р.м.), широка смуга яких простягається з північно-східних схилів ур. Криве Хеде до гирла р. Маришевська та окремо – на північно-західних схилах уздовж правого берега р. Прут в ур. Озірний. Основний тип лісу – волога буково-ялицева сусмеречина (середній запас деревини – 805,5 $м^3 \cdot га^{-1}$; середній приріст – 6,9 $м^3 \cdot га^{-1}$);

3) чистих ялинових лісів (1050-1450 м н.р.м), широка смуга яких простягається з північних схилів г. Велика Кознеска у верхів'ях приток р. Форещок до північно-східних схилів г. Велика Маришевська та окрема – з північно-східних схилів ур. Заросляк до північних та північно-східних схилів г. Гомул. Основний тип лісу – волога сусмеречина (середній запас деревини – 345,0 $м^3 \cdot га^{-1}$; середній приріст – 3,9 $м^3 \cdot га^{-1}$).

З огляду на висотну поясність Говерлянського ПОНД, дослідження проводили на трьох полігонах із метою охоплення різних типів лісових екосистем (рис. 1). Дослідні ділянки були локалізовані в 4-му кварталі (38, 48, 49 виділи), 19 кварталі (21, 6 виділи) та 21 кварталі (30 виділ) у межах висот 986-1408 м н.р.м. (рис. 1, 2, табл. 1).

Дослідники поділяють деревні залишки на грубі та дрібні, а значення мінімального діаметра коливається від 0 до 35 см (Cienciala et al., 2008). За даними IPCC (2003), діаметр CWD має становити не менше 10 см, що визначає інтенсивність їх мінералізації, оскільки Гармон і Секстон (Harmon, Sexton 1996) встановили, що менше цього діаметру швидкість розкладу збільшується експоненційно, а більше цього діаметру – зменшується.

Рис. 1. Розташування дослідних полігонів для дослідження грубих деревних залишків на території Говерлянського ПОНДВ Карпатського НПП.

Рис. 2. Локалізація ділянок дослідження грубих деревних залишків на дослідних полігонах Говерлянського ПОНДВ Карпатського НПП
(1 – ялицева бучина різнотравна; 2 – букова смеречина чорницева, 3 – смеречина різнотравно-гілокомієва; 4 – смерекова бучина зеленчуково-квасеницева; 5 – смеречина чорницева; 6 – смеречина чорницево-зеленомохова; 7 – смеречина ожикова).

Таблиця 1.

Коротка характеристика дослідних ділянок на території Говерлянського ПОНДВ Карпатського НПП

Назва та номер дослідної ділянки		Формула деревостану	Вік дерево-стану	Висота м н.р.м.
1	Ялицева бучина різнотравна	6Бк4Яц	100	986
2	Букова смеречина чорницева	5Бк5Яц	110	1060
3	Смеречина різнотравно-гілокомієва	10Ял	115	1084
4	Смерекова бучина зеленчуково-квасеницева	9Бк1Ял	100	1151
5	Смеречина чорницева	10Ял	110	1408
6	Смеречина чорницево-зеленомохова	10Ял	115	1343
7	Смеречина ожикова	10Ял	120	1312

*Назви угруповань подані за класифікацією К.А Малиновського та М.А Голубця (Голубец, Малиновский, 1969).

Відповідно до методики IPCC грубі деревні залишки поділяли на великі гілки, ламань та пні. До великих гілок зараховували гілки діаметр яких становить 1,0-10,0 см. Оцінку запасу CWD проводили методом пересічних ліній (Brown, Roussopoulos, 1974). Запаси ламані та пнів визначали за п'ятьма стадіями розкладу, а саме класом розкладу на ділянках розміром 5 × 5 м (n=5) із врахуванням деревної породи. Для ламані вимірювали довжину та діаметри у двох протилежних кінцях гілок (Wirth, Czimczik, Schulze, 2002). Для визначення щільності та маси сухої речовини CWD відбирали зразки (n=5) для кожної стадії розкладу та породи. Їхню щільність визначали парафіновим методом (Полубояринов, 1976).

Запас карбону визначали розрахунково. У роботах більшості дослідників зауважується, що вміст Карбону на різних стадіях розкладу деревного детриту перебуває в інтервалі 47-52% (Harmon, Cromack, Smith, 1987; Alban, Pastor, 1993; Krankina, Harmon, Griazkin, 1999; Ódor, Standovár, 2003 та ін.). З огляду на це для розрахунків у наших дослідженнях уміст Карбону приймали як 50% від загальної маси.

Результати досліджень та їх обговорення

Було встановлено, що в досліджуваних екосистемах загальні об'ємні запаси CWD змінюються в межах 20,7-124,0 $м^3 \cdot га^{-1}$ (рис. 3), а найбільші запаси виявлені для екосистем букової смеречини чорницевої та смеречини різнотравно-гілокомієвої: 73,1 та 124,0 $м^3 \cdot га^{-1}$ відповідно. Розподіл об'ємних запасів CWD різних стадій розкладу в досліджуваних екосистемах є нерівномірний 6,8-54,6; 8,2-80,2; 13,0-51,5; 0-18,1% для I, II, III, IV стадій розкладу відповідно.

Для оцінки маси CWD попередньо в досліджуваних екосистемах проведено аналіз змін щільності різних стадій розкладу деревини ламані ялини та

бука. Встановлено, що середні показники щільності деревини ламані ялини змінюються в межах 196,33-409,5 кг·м$^{-3}$ (табл. 2), найбільші значення виявлені для першої стадії розкладу, де щільність зменшується на 9%, порівняно з живою деревиною, на наступній стадії деревина втрачає 35%, також виявлено збільшення щільності на III-й стадії порівняно з II-ою (на 6%). Такі результати можуть бути зумовлені фрагментованістю деревного матеріалу й наявністю продуктів життєдіяльності мікроорганізмів, комах та ін. На думку С.І. Ваніна (Ванин, 1930), імовірною причиною цього явища може бути нагромадження в деревині продуктів життєдіяльності грибів. На підтвердження автор наводить результати дослідження I. Lindorth (1904, цит. за: Ванин, 1930), згідно з якими щільність деревини в берези, зараженої грибом *Fomes nigricans*, в абсолютно сухому стані становить 900 кг·м$^{-3}$, тоді як щільність здорової деревини лише 770 кг·м$^{-3}$.

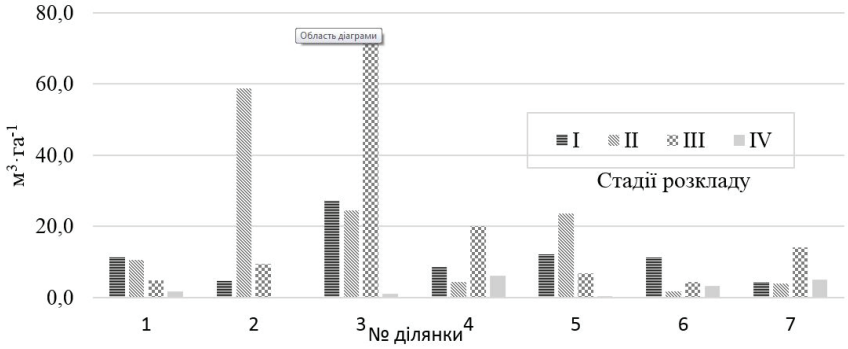

Рис. 3. Об'єм CWD у досліджуваних екосистемах Говерлянського ПОНДВ м^{3}·га$^{-1}$ Карпатського НПП (назви ділянок подані в табл. 1).

Таблиця 2.

Середні показники щільності деревини в лісових екосистемах Говерлянського ПОНДВ (м^{3}·га$^{-1}$)

Клас розкладу	Ялина			Бук		
	середня	SD	%	середня	SD	%
II	409,5	4,5	100	602,5	20,8	100
III	253,3	1,87	62	218,6	17,8	36
IV	280,6	41,17	69	192,9	3,3	32
V	196,3	8,89	48	141,7	5,6	23

SD – стандартне відхилення.

Загалом результати щільності ламані ялини першої стадії розкладу в досліджуваних екосистемах Говерлянського ПОНДВ є дещо нижчими порівняно з результатами, що отримані нами для території Сколівських Бескидів, де

щільність змінювалася в межах 484,2-193,6 кг·м$^{-3}$, а також К. Мерганішовою в лісових екосистемах Баб'ї Ґури (Західні Бескиди, Словаччина), де показники щільності змінюються в межах 430-138 кг·м$^{-3}$ (Merganičová, Merganič, 2010).

Для бука виявлено зменшення щільності зі збільшенням стадії розкладу. У переході від першої стадії розкладу до другої втрата щільності становить 56%, що на 21% перевищує аналогічний показник для ялини. Схожу зміну щільності бука було виявлено для CWD букових лісів центральної Німеччини (Müller-Using, Bartsch, 2009). Автор зазначає, що найбільша втрата маси деревини зафіксована при переході від першої стадії до другої (45%), а також збільшення щільності від третьої до четвертої стадії (від 210 до 260 кг·м$^{-3}$). У цій роботі додатково наведено результати досліджень Реніуса зі співавторами (Ranius, Jonsson, Kruys, 2004), де визначено час, за який ламань бука проходить усі стадії біодеструкції, а саме 33,8 років. Зазначається швидший перехід стадій розкладу на перших етапах розкладу порівняно із завершальними. Середня щільність ламані бука в досліджуваних нами екосистемах Карпатського НПП становить 288 кг·м$^{-3}$, що є меншими порівняно з дослідженнями S. Müller-Using (355 кг·м$^{-3}$) і може бути зумовлено кліматичними умовами території. Тобто, у досліджуваних екосистемах у результаті біодеструкції деревина ламані IV стадії розкладу втрачає 66% маси для ялини та 79% для деревини бука.

Для встановлення впливу стадій розкладу при перерахунку об'ємних показників на масу, було проведено перерахунок об'єму CWD на щільність ламані різних стадій розкладу (рис. 4а) і перерахунок на щільність живого дерева відповідної породи (рис. 4б).

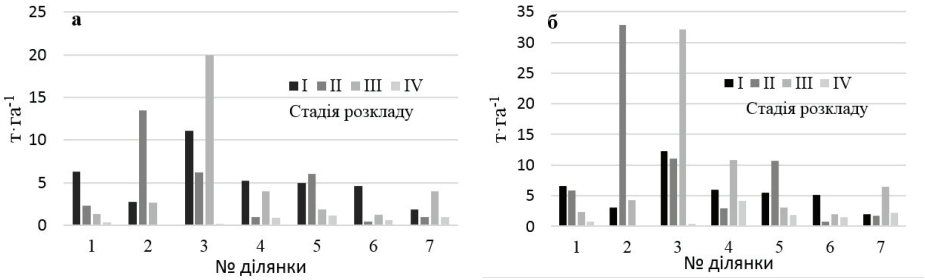

Рис. 4. Запаси CWD у досліджуваних екосистемах Говерлянського ПОНДВ т·га$^{-1}$ (а) із врахуванням щільності деревини різних стадій розкладу; (б) із врахуванням щільності деревини живого дерева (назви ділянок подані в табл. 1).

У результаті розрахунків із врахуванням щільності стадій розкладу виявлено, що запаси CWD змінюються в межах 6,9-37,5 т·га$^{-1}$, а з врахуванням щільності деревини живого дерева – 9,0-55,8 т·га$^{-1}$. Це зумовлено різним співвідношенням запасів стадій розкладу та відповідно їхньої щільності, а також часткою мертвої деревини бука. Зміна запасів була значно меншою в екосистемах з наявністю деревини початкових стадій розкладу (I-II), які мають біль-

шу щільність, ніж остатні стадії розкладу. Так, найменшу різницю виявлено в екосистемі ялицевої бучини різнотравної, де частка деревини I та II стадій розкладу становила 83% від загальних її запасів.

Висота над рівнем моря є важливим абіотичним чинником формування запасів і структури мертвої деревини, а також швидкості її розкладу. Встановлено, що в досліджуваних екосистемах зі збільшенням висоти над рівнем моря зменшуються запаси CWD, а частка деревини останніх стадій розкладу збільшується. Це явище є закономірним, оскільки зумовлено зменшенням продуктивності лісів та зменшенням розмірів дерев зі збільшенням висоти (Feller, 2003). На території Говерлянського ПОНДВ для лісових екосистем у межах висот 950-1190 м н.р.м. виявлено найбільші запаси CWD за винятком ділянки № 1, що може бути зумовлено розташуванням ділянки поблизу дороги та результатом рекреаційного навантаження, зокрема збору деревини для розкладання багать, оскільки недалеко від ділянки розташоване місце короткотермінового відпочинку “Тирлич” Карпатського НПП.

Із врахуванням запасів гілкового матеріалу вмісту Карбону в мертвій деревині на рівні 50%, абсолютні значення запасів Карбону в CWD змінюються від 4,2 до 21,2 т·С·га-1 (рис. 5а). Отримані результати є більшими, ніж запаси в бореальних лісах Російської Федерації, де вони становлять 0,1-0,7 т·С·га$^{-1}$ (Krankina et al., 2002) та для лісів США – 2,6-11,4 т·С·га$^{-1}$ (Woodall et al., 2008). Така різниця зумовлена розташуванням досліджуваних екосистем на заповідній території, де лісогосподарська діяльність є обмежена. Отримані нами середні значення для території Говерлянського ПОНДВ (9,0 т·С·га$^{-1}$) є меншими порівняно зі середніми величинами для заповідних територій Західних Карпат: 23,4 т·С·га-1 (Merganičová et al., 2010) та природних старовікових лісів Канади – 17,3 (Chen, Wei, Scherer, 2005) і Нової Зеландії – 28,9 т·С·га$^{-1}$ (Coomes et al., 2002). Для експлуатаційних лісів Стрийсько-Сянської Верховини Українських Карпат середній запас є меншим і становить 7,1 т·С·га$^{-1}$ (Рожак, 2014), що пов’язано з проведенням лісогосподарських заходів.

У досліджуваних екосистемах Говерлянського ПОНДВ також проведено аналіз запасів Карбону різних структурних компонентів грубих деревних залишків. За результатами досліджень встановлено, що ламань є основним компонентом, що формує запаси Карбону CWD (рис. 5б).

В екосистемі 100-річної ялицевої бучини запас Карбону мертвої деревини становить 8,4 т·С·га$^{-1}$ (рис 5а), основна частина якого припадає на ламань 4,0 т·С·га$^{-1}$ (77,5%), переважають CWD I-ї стадії розкладу (62%) і стовбури діаметром до 15 см і більше 25 см. Запас пнів незначний і становить 1,2 т·С·га-1. Такі запаси CWD на цій ділянці зумовлені близьким розташуванням об’єктів інфраструктури Карпатського НПП та частковим антропогенним вилученням деревини рекреантами.

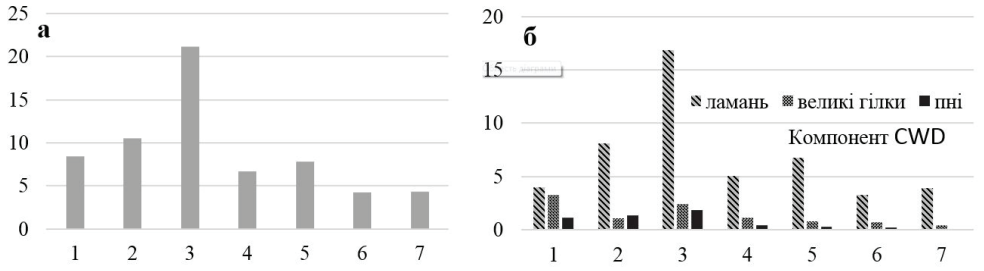

Рис. 5. Карбон CWD в досліджуваних екосистемах Говерлянського ПОНДВ, т·С·га$^{-1}$; (а) загальні запаси; (б) структура запасів (назви ділянок подані в табл. 1).

В екосистемі 110-річної букової смеречини запас CWD зосереджений у ламані – 8,1 т·С·га$^{-1}$, що становить 86% від загального запасу. Переважають грубі деревні залишки II класу розкладу (71%) діаметром більше 25 см (рис. 6б). Запас пнів є незначним і становить 1,3 т·С·га$^{-1}$ (14%).

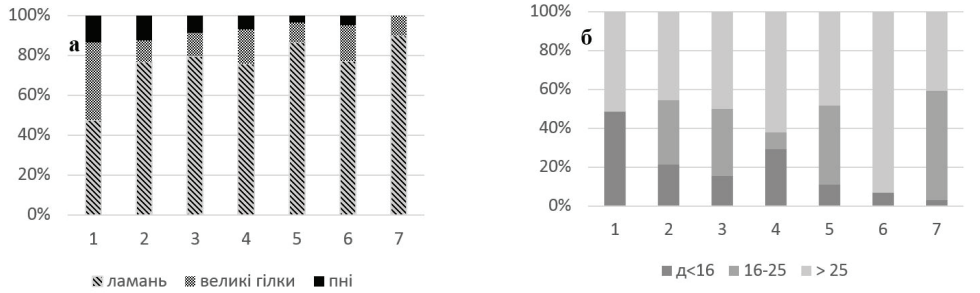

Рис 6. Структура запасів CWD в досліджуваних екосистемах Говерлянського ПОНДВ, т·С·га$^{-1}$ (а) – співвідношення між компонентами CWD; (б) поділ CWD за класами діаметру.

Запас грубих деревних залишків під 115-річною смеречиною зосереджений у ламані – 16,9 т·С·га$^{-1}$ (90%). Основна частина запасу ламані припадає на III стадію розкладу – 8,2 т·С·га$^{-1}$, це в основному стовбури діаметром 16-25 см. Запас пнів становить 1,9 т·С·га$^{-1}$ та приурочений до III стадії розкладу.

Запас CWD у 100-річній смерековій бучині становить 6,7 т·га$^{-1}$, представлений ламанню 5,1 т·С·га$^{-1}$ або 91,5% та пнями – 0,4 т·С·га$^{-1}$ (8,5%). Переважає ламань бука II стадії розкладу діаметром більше 25 см.

В екосистемі 110-річної смеречини запас мертвої деревини становить 7,9 т·С·га$^{-1}$ і зосереджений у ламані – 6,8 т·га$^{-1}$ (96%), основна частина якої припадає на I і II стадії розкладу. Запас пнів – 0,3 т·С·га$^{-1}$.

Запас грубих деревних залишків під 115-річною смеречиною є невеликим, припадає на ламань – 3,3 т·С·га$^{-1}$ та формується стовбурами діаметром

більше 25 см. Запас пнів є найменшим і становить 0,1 т·С·га$^{-1}$ (ІІІ стадія розкладу).

В екосистемі 120-річної смеречини запас CWD становить 4,3 т·С·га$^{-1}$ та зосереджений ламані ІІІ і IV стадії розкладу. Пнів виявлено не було.

Додатково для досліджуваних екосистем проведено оцінку запасів Карбону великих гілок (діаметром 1-7 см). Їхню кількість визначали методом пересічених ліній, розробленим Брауном (Brown, 1974). Довжина лінії 20 м. Встановлено, що запаси великих гілок змінюються в межах 0,5-3,3 т·С·га$^{-1}$, що становить 9-39% від загальних запасів CWD у досліджуваних екосистемах (рис. 5б, 6а).

На досліджуваних ділянках не виявлено пнів перших стадій розкладу, що може бути зумовлено швидшими темпами біотрансформації надґрунтової частини деревного матеріалу на перших стадіях унаслідок ксилолізу легкодоступних сполук органічного Карбону та її сповільненням на останніх стадіях, де залишаються сполуки, які важко піддаються біодеградації (зокрема лігнін).

Таким чином, для досліджуваних лісових екосистем Говерлянського ПОНДВ Карпатського НПП віком 100-120 років встановлена значна варіабельність запасів Карбону мертвої деревини (від 4,2 до 21,2 т·С·га$^{-1}$). Основним структурним компонентом мертвої деревини, який зумовлює таку варіабельність, є запаси ламані. Виявлено середній кореляційний зв'язок між запасами ламані та великими гілками (r=0,36) і сильний – між запасами ламані та пнів (r=0,78), що є свідченням інтенсивності мінералізації цих компонентів CWD в умовах високогір'я.

Висновки

Дослідження, проведені в лісових екосистемах Говерлянського ПОНДВ, виявили, що зі збільшенням висоти над рівнем моря змінюється співвідношення запасів Карбону грубих деревних залишків між стадіями розкладу зі збільшення частки мертвої деревини останніх стадій розкладу, що зумовлено кліматичними особливостями досліджуваної території.

Встановлено, що при розрахунках запасів органічного Карбону CWD з використанням щільності деревини живого дерева значення запасів є більшими в 1,3-2,2 рази в залежності від породи та її стадії розкладу. Зважаючи на це, вважаємо за необхідне при розрахунках балансу Карбону в лісових екосистемах враховувати щільність деревини для зменшення неточностей, пов'язаних з використанням лише морфометричних показників для оцінки як пулу мертвої деревини, так і кількості CO_2, який виділяється в разі її мінералізації. Отримані дані запасів Карбону CWD та зміна їх щільності під впливом ксилолізу будуть використані для параметризації математичних моделей для розрахунку запасів органічного Карбону в лісових екосистемах високогір'я Українських Карпат та їх ролі у вуглецевому балансі регіону.

Білоус А.М. Розроблення моделей для оцінювання мортмаси деревної ламані осикових лісів Українського Полісся // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.10. – С. 23-29.

Ванин С.И. Гниль дерева, ее причины и меры борьбы. – М.: Сельхозгиз., 1930. – 166 с.

Голубец М.А., Малиновский К.А. Классификация растительности Украинских Карпат // Проблемы ботаники. – 1969, № 11. – С. 237-254.

Голубец М.А., Малиновский К.А., Стойко С.М. Геоботаническое районирование Украинских Карпат. – Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1965. – С. 10-13.

Ковбаса Я.В. Моделювання мортмаси деревної ламані березових лісів Східного Полісся України // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вип. 24.9. – С. 94-100.

Мухортова Л.В., Ведрова Э.Ф. Вклад крупных древесных остатков в динамику запасов органического вещества послерубочных лесных экосистем // Лесоведение. – 2012. – № 6. – С. 55-62.

Пастернак В.П. Біопродуктивність лісів Північного Сходу України в контексті змін клімату: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. с.-г. наук: спец. 06.03.02, 06.03.03. – К., 2011. – 49 с.

Полубояринов О.И. Плотность древесины. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 200 с.

Рожак В. Особливості формування запасів мертвої деревини в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати) // Наукові записки ТНПУ ім. Володимира Гнатюка. Серія біологія. – 2014. – № 2 (59) – С. 5-10.

Чернявський М., Іжик Г. Відмерла деревина у букових пралісах як комплекс мікросередовищ існування грибів // Вісник Львівського національного університету ім. Івана Франка. – Сер. Географічна. – Львів: Вид-во центр ЛНУ ім. Івана Франка. – 2014. – Вип. 45. – С. 144-149.

Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г., Нильссон С. Оценка запасов древесного детрита в лесах России // Лесная таксация и лесоустройство. – 2009. – № 1(41). – С. 133-147.

Alban D.H., Pastor J. Decomposition of aspen, spruce and pine boles on two sites in Minnesota // J. For. Res. – 1993. – № 23. – P. 1744-1749.

Brown J.K., Roussopoulos P.J. Eliminating biases in the planar intersect method for estimating volumes of small fuel // Forest Science, 1974. – Vol. 20, № 4. – P. 350-356.

Cienciala E., Tomppo E., Snorrason A., Broadmeadow M., Colin A., Dunger K., Exnerova Z., Lasserre B., Petersson H., Priwitzer T., Sanchez G., Ståhl G. Preparing emission reporting from forests: Use of National Forest Inventories in European countries. Silva Fennica, 2008. – Vol. 42. – P. 73-88.

Chen X., Wei X., Scherer R. Influence of wildfire and harvest on biomass, carbon pool, and decomposition of large woody debris in forested streams of southern interior British Columbia. // Forest Ecology and Management. – 2005. – Vol. 208. – P. 101-114.

Coomes D.A., Allen R.B., Scoty N.A., Goulding C., Beets P. Designing systems to monitor carbon tocks in forests and shrublands // Forest Ecology and Management. – 2002. – Vol. – 164. – P. 89-108.

Dudley N., Vallauri D., Lazarova S. Dead wood – living forest, WWF, Sofia, 2004. – P. 20.

Field Measurments for forest Carbon Monitoring, Springer Science + Business Media B.V. Hoover C.M. (ed.) 2008.

Feller M.C. Coarse woody debris in the old growth forests of British Columbia // Environmental Review. – 2003, 11. – P. 135-157.

Harmon M.I., Cromack K.J., Smith J. Coarse woody debris in mixed – conifer forests, Sequoia National Park, California // Canadian Journal of Forest Research. – 1987. – Vol. 17. – P. 1265-1272.

Harmon M.E., Krankina O.N., Sexton J. Decomposition vectors: a new approach to estimating woody detritus decomposition dynamics // Canadian Journal of Forest Research. – 2000. – Vol. 30. – P. 76-84.

Harmon M.E., Sexton J. Guidelines for Measurements of Woody Detritus in Forest Ecosystems. Seattle, US LTER Network Ofce, University of Washington US LTER Publication № 20 – 1996. – P. 73.

IPCC Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. – 2003. – http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_contents.htm (Accessed: 20.01.2016)

Krankina O.N., Harmon M.E. Dynamics of the dead wood carbon pool in Northwestern Russian boreal forests // Water, Air and Soil Pollution. – 1995. – Vol. 82. – P. 227-238.

Krankina O.N., Harmon M.E, Griazkin A.V. Nutrient stores and dynamics of woody detritus in a boreal forest: modeling potential implications at the stend level I. // Canadian Journal of Forest Research. – 1999. – Vol. 29. – P. 20-32.

Krankina O.N., Harmon M.E., Kukuev Y.A., Treyfeld R.F., Kashpor N.N., Kresnov V.G., Skudin V.M., Protasov N.A., Yatskov M., Spycher G., Povarov E.D. Coarse woody debris in forest regions of Russia // Canadian Journal of Forest Research. – 2002. – Vol. 32. – P. 768-778.

Merganičová K., Merganič J. Coarse woody debris carbon stocks in natural spruce forests of Babia hora // Journal of Forest Science. – Vol. 56, № 9. – 2010. – P. 397-405.

Müller-Using, S., Bartsch N. Decay dynamic of coarse and fine woody debris of a beech (*Fagus sylvatica* L.) forest in Central Germany European Journal of Forest Research May 2009. – Vol. 128, Issue 3. – P. 287-296.

Ódor P., Standovár T. Changes of physical and chemical properties of dead wood during decay (Hungary). The NatMan Project, Working Report, 2003 – P. 23-29.

Radtke P.J., Prisley S.P., Amateis R.L., Copenheaver C.A., Burkhart H.E. A proposed model for deadwood C production and decay in loblolly pine plantations // Environmental Management, 2004. – Voll. 33 (Special Issue): Supplement 1. – P. 856-864.

Rahman M.M., Frank G., Ruprecht H., Vacik H. Structure of coarse woody debris in Lange-Leitn Natural Forest Reserve, Austria // Journal of Forest Science, 2008. – Vol. 54. – P. 161-169.

Ranius T., Jonsson B., Kruys N. Modelling dead wood in Fennoscandian old-growth forests dominated by Norway spruce // Can J For Res, 2004. – Vol. 34. – P. 1025-1034.

Saniga M., Schütz J.P. Relation of dead wood course within the development cycle of selected virgin forests in Slovakia // Journal of Forest Science, 2002. – Vol. 48. – P. 513-528.

Sefidi K., Mohadjer M.R.M. Characteristics of coarse woody debris in successional stages of natural beech (*Fagus orientalis*) forests of Northern Iran // Journal of Forest Science, 2010. – Vol. 56 (1). – P. 7-17.

Wirth I.C., Czimczik C.I., Schulze E.-D. Beyond annual budgets: carbon flux at different temporal scales in fire-prone Siberian Scots pine forests. – 2002. – № 54 B. – P. 611-630. doi:10.1034/j.1600-0889.2002.01343.x.

Woodall C.W., Heath L.S., Smith J.E. National inventories of down and dead woody material forest carbon stocks in the United States: Challenges and opportunities. Forest

Ecology and Management, 2008. – P. 221-228.
Woodall C.W., Liknes G.C. Climatic regions as an indicator of forest coarse and fne woody debris carbon stocks in the United States // Carbon Balance and Management, 2008. – Vol. 3. – P. 5.

ЗАПАСЫ И СТРУКТУРА ГРУБЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКОВ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ РЕЗЕРВУАРА ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ КАРПАТСКОГО НПП

В.П. Рожак, И.М. Шпакивская, Н.И. Папиш

Грубые древесные остатки являются значительным резервуаром органического углерода лесных экосистем, которые медленно подвергаются биодеструкции. Запасы органического вещества мертвой древесины определяются производительностью насаждений, связанной с географическим расположением, возрастом древостоя и условиями разложения растительных остатков. Исследования, проведенные в лесных экосистемах Говерлянского ПОНИО, показа-ли, что с увеличением высоты над уровнем моря изменяется соотношение запасов углерода грубых древесных остатков между стадиями разложения с увеличением доли мертвой древесины последних стадий разложения, что обусловлено климатическими особенностями исследуемой территории.

Для исследуемых лесных экосистем Говерлянского ПОНИО Карпатского НПП с возрас-том древостоя 100-120 лет, установлена значительная вариабельность запасов углерода мертвой древесины (от 4,2 до 21,2 т·С·га$^{-1}$). Основным структурным компонентом мертвой древесины, который предопределяет такую вариабельность есть запасы валежа. Выявлено средняя корреляционная связь между запасами валежа и большими ветвями (r = 0,36) и сильная – между запасами валежа и пней (r = 0,78), что свидетельствует о интенсивности минерализации этих компонентов CWD в условиях высокогорья.

Установлено, что при расчетах запасов органического углерода CWD с использованием плотности древесины живого дерева значение запасов являются большими в 1,3-2,2 раза в зависимости от породы и ее стадии разложения. С этого, считаем необходимым при расчетах баланса углерода в лесных экосистемах учитывать плотность древесины для уменьшения неточностей, связанных с использованием только морфометрических показателей для оценки как пула мертвой древесины так и количества CO_2, выделяемого при ее минерализации. Полученные данные запасов углерода мертвой древесины и изменение их плотности под влиянием ксилолиза будут использованы для параметризации математических моделей при расчетах запасов органического углерода в лесных экосистемах высокогорья Украинских Карпат и их роли в углеродном балансе региона.

Ключевые слова: лесные экосистемы, грубые древесные остатки, карбон, ксилолиз, Украинские Карпаты

RESERVES AND STRUCTURE OF COARSE WOODY DEBRIS AND ITS ROLE IN THE FORMATION OF THE ORGANIC CARBON STOCK IN THE FOREST ECOSYSTEMS OF THE CARPATHIAN NNP

V. Rozhak , I. Shpakivska, M. Papish

Coarse woody debris is the significant reservoir of organic carbon in forest ecosystems, which is slowly decomposed. Organic matter storage of dead wood is determined by the productivity of plantation, due to the geographical location, age of the tree stand and the conditions of the decomposition of plant residues. Studies conducted in the forest ecosystems of Hoverlianskyi ECSRD showed that with increasing of elevation the interrelation between carbon stock of coarse woody debris is changing between the

stages of decomposition along with the increase of the proportion of dead wood of the last stages of the decay due to the climatic characteristics of the studied area.

Significant variability of the carbon stock of dead wood was established (from 4.2 to 21.2 $t \cdot C \cdot ha^{-1}$) for the investigated forest ecosystems (age of a tree stand – 100-120 years) of the Hoverlianskyi ECSRD of the Carpathian NNP. The logs are the main structural components of dead wood, which cause such variability. The average correlation was identified between the stocks of logs and large branches (r = 0.36) and the strong one between stocks of logs and stump (r = 0.78), which testifies to the intensity of mineralization of these components of CWD in high altitudes.

It is established that during calculations of organic carbon of CWD stocks using the density of wood of a living tree, the value of stocks is greater in 1,3-2,2 times, depending on the tree species and its stage of decomposition. In view of this, we consider it necessary to take into account the density of wood to reduce inaccuracies associated with the use of only morphometric indicators to assess the dead wood pool and the amount of CO_2 emission due of its mineralization when calculating the carbon balance in forest ecosystems. The obtained data of the carbon stock of dead wood and the change in their density under the influence of xylolysis will be used to parameterization of the mathematical models when calculating organic carbon stocks in the forest ecosystems of highlands of the Ukrainian Carpathians and their role in the carbon balance of the region.

Key words: forest ecosystems, coarse woody debris, carbon, xylolysis, Ukrainian Carpathians

Надійшла 03.10.2017
Прийнята до друку 24.12.2017

Рожак В.П. Інститут екології Карпат НАН України, вул. Козельницька, 4, Львів, 79026, Україна; e-mail: rozhakeco@gmail.com

Rozhak V. Institute of Ecology of the Carpathians NAS of Ukraine, 4 Kozelnytska St, Lviv, 79026, Ukraine; e-mail: rozhakeco@gmail.com

Шпаківська І.М. Інститут екології Карпат НАН України, вул. Козельницька, 4, Львів, 79026, Україна; e-mail ishpakivska@ukr.net

Shpakivska I. Institute of Ecology of the Carpathians NAS of Ukraine, 4 Kozelnytska St, Lviv, 79026, Ukraine; e-mail: ishpakivska@ukr.net

Папіш М.І. Інститут екології Карпат НАН України, вул. Козельницька, 4, Львів, 79026, Україна; e-mail: papishkolya@gmail.com

Papish M. Institute of Ecology of the Carpathians NAS of Ukraine, 4 Kozelnytska St, Lviv, 79026, Ukraine; e-mail: papishkolya@gmail.com