

## РОЛЬ КОМПОНЕНТІВ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ В АКУМУЛЯЦІЇ ВУГЛЕЦЮ ЯК ФАКТОРА ПІДТРИМКИ ЇХ СТАБІЛЬНОСТІ ДО ЗОВНІШНІХ ЧИННИКІВ

*У статті коротко проаналізовано дослідження з питань акумуляції вуглецю лісовими екосистемами. Показано відмінності накопичення вуглецю в різних компонентах лісових фітоценозів та обґрунтовано необхідність продовження досліджень ролі окремих вуглецевих пулів для підтримки стабільності екосистеми до впливу зовнішніх чинників.*

**Ключові слова:** акумуляція вуглецю, лісові угруповання, стабільність екосистеми.

Лісові екосистеми виконують важливі функції, що забезпечують стабільний стан навколишнього природного середовища. Ліси здійснюють накопичення і кругообіг речовин, продукують та запасують енергію, регулюють та захищають основні фізичні характеристики середовища в умовах зовнішніх впливів і, зокрема, кліматичних змін. Особливого значення набуває така функція лісових фітоценозів, як накопичення органічної маси та акумуляція вуглецю. Ліси є важливим компонентом глобального вуглецевого циклу, вони акумулюють більш ніж  $1 \times 10^{15}$  тонн вуглецю в біомасі, детриті та ґрунті [19]. Акумулюючи вуглець, лісові екосистеми виконують значну екологічну роботу, таким чином депонуючи вуглекислий газ, вміст якого в атмосфері впливає на зміни клімату [22]. Загалом, серед наземних екосистем ліси є основним поглиначем вуглекислого газу, здатним природним шляхом зменшувати його концентрацію в атмосфері. Причому цікавим є дослідження запасів вуглецю в основних компонентах лісових екосистем різного типу. Дані, отримані внаслідок таких досліджень, дають змогу провести їх порівняльний аналіз та визначити, який тип лісових екосистем та які його компоненти відіграють найбільшу роль у депонуванні вуглецю. За масштабами продукування і, особливо, тривалістю акумулювання вуглецю у деревних рослинах ліси визнано найнадійнішою системою запобігання парниковому ефекту [11].

Ліси налічують майже половину загального світового вуглецю. Якщо взяти до уваги тільки рослинність (за винятком ґрунтів), то ліси утримують близько 75 % вуглецю на планеті. У 2005 р. загальний вуглецевий вміст лісових екосистем світу було оцінено у 1,036 гігатонн  $\text{CO}_2$  [25].

Загальну кількість акумульованого вуглецю лісовими насадженнями в Україні було оцінено в 766,4 млн т  $\text{CO}_2$  [25]. За даними П. І. Лакиди [8], у фітомасі лісів України, що становить 1237,2 млн т, акумульовано близько 615 т вуглецю.

Важлива роль лісів у глобальному вуглецевому балансі полягає в тому, що вони можуть бути як джерелом вуглецю, так і його поглиначем [13]. Вирубування лісів, а також їх трансформація на аграрні екосистеми призводять до змін у обмінних процесах у системі атмосфера – рослинний покрив – ґрунти та впливають на баланс вуглецю як на локальному, так і глобальному рівнях [5; 6].

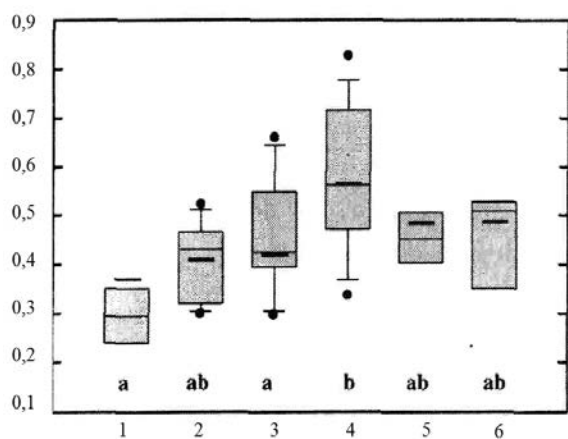
Серед основних факторів, які впливають на потенціал лісів депонувати вуглець, є раціональне управління лісовими ресурсами, можливі пошкодження лісових ділянок, а також вік та склад фітоценозів [24; 26; 27]. Дослідники визнають, що вирубка лісів та зміни в землекористуванні та ґрунтово-рослинному покриві є головними причинами зменшення запасів вуглецю та викидів  $\text{CO}_2$  в атмосферу [20; 23].

Для одержання об'єктивної інформації про динаміку стану та продуктивності лісових насаджень, накопичення і втрати вуглецю пропонується здійснювати на регулярній основі моніторинг лісів [12; 28].

*Особливості накопичення вуглецю у фітоценозах різного типу*

Природні фітоценози мають суттєві відмінності в динаміці та загальному запасі акумульованого вуглецю, що відзначається багатьма авторами [4; 8; 15; 16]. У наших попередніх дослідженнях [1] також було показано суттєву різницю в кількості вуглецю надземної фітомаси та підстилки листяних і хвойних лісів. Утім, порівнюючи характер накопичення вуглецю в

лісових екосистемах різного типу, доцільно використовувати не тільки загальну кількість органічної маси, а й обрати більш універсальний показник. Е. Делучі у співавторстві [21] запропонував показник ефективності використання вуглецю, який характеризує здатність лісових екосистем засвоювати вуглець і перетворювати його на наземну біомасу. Показник ефективності використання вуглецю розраховується як відношення чистої первинної продукції до валової первинної продукції. Його значення для різних типів лісових екосистем наведено на рис. 1.



**Рис. 1.** Показники ефективності використання вуглецю основних типів лісів за Е. Делучі та ін., 2007 [21]:  
1 – бореальні ліси; 2 – хвойні ліси морського узбережжя; 3 – хвойні ліси помірної зони; 4 – листяні ліси помірної зони; 5 – мішані ліси помірної зони; 6 – тропічні ліси

Середні значення показників ефективності використання вуглецю позначено тонкими лініями у блоках. Верхні і нижні краї блоків показують 25-ту і 75-ту перцентилі; лініями, які відходять від блоків – 90-ту і 10-ту перцентилі. Крапками позначено можливі значення ефективності використання вуглецю, які не входять до сукупності значень цього показника, згрупованого в блоки.

Проведене науковцями дослідження показало, що цей показник варіює від 0,23 до 0,83 залежно від типу лісових екосистем. Найвище значення показника ефективності використання вуглецю характерне листяним лісам помірної зони, найнижче – бореальним лісам. Таким чином, маючи вищі показники ефективності використання вуглецю, листяні ліси краще акумулюють вуглець, ніж хвойні. Отже, порівнюючи листяні ліси з хвойними з приблизно однаковими характеристиками фітоценозів за віком та умовами зростання, листяні ліси здатні депонувати більшу кількість вуглецю, ніж хвойні.

#### *Акумуляція вуглецю в окремих компонентах лісових фітоценозів*

Рослини земної кулі щорічно споживають близько 175 млн тонн вуглекислого газу [2]. Під час фотосинтезу відбувається перетворення енергії сонячного світла на енергію хімічних зв'язків, яка в подальшому використовується для утворення органічної речовини. Чистий фотосинтез органічної речовини за сезон становить 21,8–7,7 т/га, і 25–45 % продуктів фотосинтезу перетворюється на деревину [7; 10]. Потім утворена в результаті фотосинтезу органічна речовина може переходити в тимчасові структури (листя, квітки та ін.), які залучаються потім у щорічний кругообіг або в постійні частини рослин – стовбур, гілки, корені, за рахунок яких відбувається збільшення біомаси [9].

За А. І. Уткіним (1995) [14], вуглецевий цикл лісової екосистеми складається з депо, пулів і потоків цього елемента. Пули вуглецю являють собою тимчасові або постійні структури, в яких відбувається акумуляція вуглецю. Депо можна охарактеризувати як відносно постійну складову, в якій відбувається тривале депонування вуглецю. Прикладом депо є такі складові частини фітомаси, як листя, гілки, корені та стовбури. Пули вуглецю, крім того, містять ще й витратні структури, переважно антропогенного походження. Прикладами витратних структур може бути вилучення вуглецю під час заготівлі деревини, торфу, внаслідок перероблення деревини, а також емісії вуглецю внаслідок пожеж, при розкладанні лісової підстилки, відпаду і сухостою [10].

Різні дослідники виділяють різні пули вуглецю. Так, К. С. Бобкова (2004) [4] виділяє три пули органічної речовини:

- фітомаса (Ph), диференційована на фракції (за необхідності на фітоценоетичні яруси), надземну і ґрунтову товщі;
- детрит (Dtr), за необхідності з диференціацією на три самостійні пули: лісова підстилка (Dtr littr); великі залишки деревини (Dtr s.w.d), бажано з розділенням на сухостій (Dtr dead trees) і корчі (Dtr logs), корені та пеньки (Dtr belowground); відмерлі гілки в кронах (Dtr dead branch);
- гумус (Hum), представлений двома пулами: органічної речовини, яка легко мінералізується, або лабільного гумусу (Hum lab.); стабільного гумусу (Hum stab.).

І. М. Шпаківська та О. Г. Марискевич (2009) виокремлюють такі блоки акумуляції органічної речовини: фітомаса, фітодетрит та гумус ґрунту [15].

М. Кеннел, Р. Девар та Д. П'ятт (1993) зазначають, що вуглець, який фіксується в процесі фотосинтезу під час росту лісових насаджень, спершу виступає як будівельний матеріал для дерев, а потім або переходить у підстилку і детрит, або видаляється з лісу як сировина для промисловості (вироби з деревини) чи в результаті рубок догляду [17].

Таким чином, ці автори виділяють такі три основні пули вуглецю: 1) дерева; 2) вироби з деревини та залишки від рубок догляду; 3) підстилка і ґрунт.

М. Кеннел та Р. Мілн [18] разом ці три пули вуглецю поділяють на два компоненти: 1) загальний запас вуглецю, що означає максимальну кількість вуглецю, яка може бути акумульована, коли система досягла стану рівноваги, 2) середній рівень запасу вуглецю за стандартний проміжок часу, часто це період першої ротації рослин у лісі. У свою чергу Дж. Альберті та ін. [16] вважають, що основними депо вуглецю є ґрунт та надземна фітомаса.

Акумуляція вуглецю в лісових екосистемах відбувається в різних його компонентах, серед яких найважливішими є надземна фітомаса, підстилка і ґрунт (рис. 2). Ці компоненти лісових екосистем слугують найбільшими депо вуглецю.

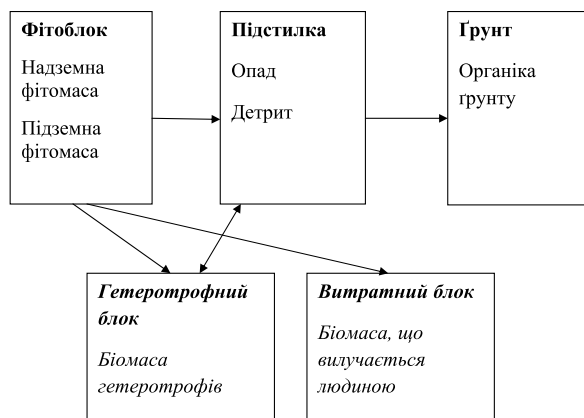


Рис. 2. Основні пули акумуляції вуглецю в лісових екосистемах

Залишається дискусійним питання виділення в окремий пул витратних структур, які вилучаються з лісу або внаслідок заготівлі деревини, або в результаті рубок догляду. Щодо гетеротрофного блоку, то його розмір є на порядок меншим, ніж фітоблок, а міграції та різкі зміни чисельності гетеротрофів часто важко оцінювати коректно.

Потрібно відзначити суттєві розбіжності в літературних даних щодо запасу вуглецю в окремих пулах лісових фітоценозів, що сильно варіює залежно від видового складу, віку, бонітету та

інших особливостей. Так, у дослідженні запасів органічного вуглецю в основних резервуарах лісових екосистем Східних Бескидів [15] показано, що щільність запасів органічного вуглецю у лісових екосистемах становить 128–147 т С/га. Загальний запас депонованого вуглецю в досліджуваних лісових екосистемах розподілявся в основних резервуарах таким чином: на фітомасу припадало 93,0 т С·га<sup>-1</sup>, стовбуровий фітодетрит – 2,8, підстилку – 4,3 та ґрунт – 49,1 т С·га<sup>-1</sup>. У відсотках із загального запасу органічного вуглецю 54,2 % припадало на фітомасу дерево-стану, 41,4 % – ґрунтовий профіль до глибини 50 см, 2,5 % – підстилку, 1,1 % – піднаметову рослинність і 0,8 % – стовбуровий фітодетрит. Тобто найбільша кількість органічного вуглецю акумулюється у фітомасі, а найменша – у фітодетриті. Основними резервуарами вуглецю в цьому випадку виступали фітомаса та ґрунт. В іншому дослідженні [3], проведеному в гірських і гідроморфних ландшафтах, показано, що співвідношення маси рослинних решток (фітодетриту) і фітомаси живих рослин становить 1,8.

З'ясовано також, що загальний запас вуглецю в екосистемі широколистяних лісів зростає лінійно під час росту і розвитку самої екосистеми [16]. З віком розподіл вуглецю за основними його пулами змінювався. На початку розвитку екосистеми переважну більшість вуглецю акумульовано в надземній частині, і лише незначну його кількість – у підстилці. На цьому етапі розвитку екосистеми вуглець не накопичується в ґрунті. Ситуація змінюється мірою розвитку екосистеми, і з часом ґрунт стає другим за величиною депо вуглецю після надземної фітомаси. На кінцевому етапі розвитку лісової екосистеми, коли вік дерев становив близько 75 років, ґрунт стає найбільшим депо вуглецю. На другому місці за кількістю акумульованого вуглецю є надземна фітомаса, яка також забезпечує значне його консервування. Підстилка протягом усього періоду розвитку лісової екосистеми залишалася найменшим пулом вуглецю. Треба зазначити, що лісова підстилка є дуже динамічним пулом. У ній хоч і не затримується значна частина органіки, проте цей компонент лісової екосистеми є визначальним у транзиті вуглецю від фітомаси до ґрунту.

Отже, в усіх наведених вище літературних даних щодо запасу вуглецю в окремих складових лісових екосистем виділяють три основні депо вуглецю: фітомаса, підстилка і ґрунт. Більший вміст вуглецю в тому чи іншому пулі можна пояснити різними типами лісорослинних умов та відмінностями в основних характеристиках

досліджуваних лісових екосистем: породний та віковий склад деревостану і підліску, бонітет, повнота та ін.

Таким чином, лісові екосистеми відіграють важливу роль у накопиченні органічної маси та

аккумуляції вуглецю. Будучи головними регуляторами вмісту вуглекислого газу в атмосфері, лісові фітоценози фактично є єдиними екосистемами, здатними природним шляхом впливати на зміни клімату.

#### Список літератури

1. Альошкіна У. М. Акумуляція вуглецю лісовими екосистемами (на прикладі модельних ділянок у заказнику «Лісники», м. Київ) / У. М. Альошкіна, А. А. Жовтенко, І. Г. Вишенська // Наукові записки НАУКМА. – 2011. – Том 119 : Біологія та екологія. – С. 52–56.
2. Астанин Л. П. Охрана природы / Л. П. Астанин, К. Н. Благосклонов. – М. : Колос, 1978. – С. 22–24.
3. Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии / Н. И. Базилевич. – М. : Наука, 1993. – 295 с.
4. Бобкова К. С. Отчет по анализу углеродного цикла и методам изоляции углерода. Проект ПРООН/ГЭФ. Сохранение биоразнообразия первичных лесов в районе верховьев реки Печора Республики Коми / К. С. Бобкова. – Сыктывкар, 2004. – 16 с.
5. Букша І. Внесок лісового господарства України у зменшення ризику зміни клімату / І. Букша // Деякі аспекти глобальної зміни клімату в Україні : зб. статей. – К. : Ініціатива з питань зміни клімату, 2002. – С. 132–146.
6. Букша І. Роль лісового господарства у зменшенні ризику глобальних змін клімату / І. Букша, В. Пастернак, В. Корнієнко // Лісовий і мисливський журнал. – К. : Преса України. – 2002. – № 1. – С. 28–29.
7. Крамер П. Физиология древесных растений / П. Крамер, Т. Козловский. – М. : Гослесбумиздат, 1963. – 626 с.
8. Лакида П. И. Динамика запасов углерода в лесах Украины / П. И. Лакида // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. – Гомель, 2001. – Вып. 56. – С. 86–90.
9. Лакида П. І. Фітомаса березових лісостанів Українського Полісся / П. І. Лакида, Л. М. Матушевич. – К. : ННЦ ІАЕ, 2006. – 228 с.
10. Лось Н. М. Лісові екосистеми Центрального Полісся в контексті запобігання зміни клімату / Н. М. Лось // Науковий вісник НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.1. – С. 47–51.
11. Морозюк О. В. Глобальні зміни клімату та регіональний вплив лісів на баланс вуглецю / О. В. Морозюк // Науковий вісник НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.5. – С. 88–92.
12. Пастернак В. П. Методичні підходи до моніторингу динаміки вуглецю у лісових екосистемах / В. П. Пастернак, І. Ф. Букша // Науковий вісник УкрНДЛГА ім. Г. М. Висоцького. – 2004. – Вип. 14.2. – С. 177–181.
13. Соловій І. П. Зміна клімату і лісовий сектор економіки: взаємовпливи, альтернативи, перспективи / І. П. Соловій, Т. Я. Кулешник // Науковий вісник НЛТУ України. – 2008. – Вип. 18.11. – С. 209–216.
14. Уткин А. И. Углеродный цикл и лесоводство / А. И. Уткин // Лесоведение. – 1995. – № 5. – С. 3–20.
15. Шпаківська І. М. Оцінка запасів органічного вуглецю в лісових екосистемах Східних Бескидів / І. М. Шпаківська, О. М. Марискевич // Лісівництво і агролісомеліорація. – Харків : УкрНДЛГА, 2009. – Вип. 115. – С. 176–180.
16. Forest ecosystem carbon accumulation during a secondary succession in the Eastern Prealps of Italy / G. Alberti, A. Peressotti, P. Piussi, G. Zerbi // Forestry. – 2008. – Vol. 81. – No. 1. – P. 1–11.
17. Cannell M. R. G. Conifer plantations on drained peatlands in Britain: a net gain or loss of carbon? / M. R. G. Cannell, R. C. Dewar, G. Pyatt // Forestry. – 1993. – Vol. 66. – No. 4. – P. 353–369.
18. Cannell M. R. G. Carbon pools and sequestration in forest ecosystems in Britain / M. R. G. Cannell, R. Milne // Forestry. – 1995. – Vol. 68. – No. 4. – P. 361–378.
19. Carbon pools and flux of global forest ecosystems / R. K. Dixon, S. Brown, R. A. Houghton et al. // Science. – 1994. – Vol. 263. – P. 185–190.
20. Dumanski J. Soil conservation and carbon sequestration / J. Dumanski, R. Lal // Clim. Change. – 2004. – No. 65. – P. 253–254.
21. Forest carbon use efficiency: is respiration a constant fraction of gross primary production / H. DeLucia Ewan, E. D. John, R. B. Thomas, M. Gonzalez // Global change biology. – 2007. – No. 13. – P. 1157–1167.
22. Controls on annual forest carbon storage: lessons from the past and predictions for the future / C. M. Gough, C. S. Vogel, H. P. Schmid, P. S. Curtis // Bioscience. – 2008. – Vol. 58. – No. 7. – P. 609–622.
23. Converting terrestrial ecosystem from sources to links of carbon / R. Houghton // Ambio. – 1996. – Vol. 25. – P. 267–272.
24. Carbon dynamics of Oregon and Northern California forests and potential land-base carbon storage / T. Hudiburg, B. Law, D. P. Turner et al. // Ecol. Appl. – 2009. – Vol. 19. – P. 163–180.
25. Information on CR iSTAL (Community-based Risk Screening Tool – Adaptation and Livelihoods) and the reports of the test cases [Electronic resource]. – Mode of access: [http://www.iisd.org/security/es/resilience/climate\\_phase2.asp](http://www.iisd.org/security/es/resilience/climate_phase2.asp). – Title from the screen.
26. Kauffman J. Dynamics of C and nutrient pools associated with land conversion and abandonment in Neotropical landscapes / J. Kauffman, R. Hughes, C. Heider // Ecol. Appl. – 2009. – Vol. 19. – P. 1211–1222.
27. Mendoza-Ponce A. Aboveground and belowground biomass and carbon pools in highland temperate forest landscape in central Mexico / A. Mendoza-Ponce, L. Galicia // Forestry. – 2010. – Vol. 83. – No. 5. – P. 497–506.
28. Nabuurs G.-J. Monitoring and reporting carbon stocks and fluxes in Dutch forests: Pap. COST E21 Workshop “Contribution of Forests and Forestry to Mitigate Greenhouse Effects”, Joensuu, 28–30 Sept, 2000 / G.-J. Nabuurs, F. Mohren, H. Dolman // Biotechnol., agr., soc. et environ. – 2000. – No. 4. – P. 308–310.

I. Vyshenska

## ROLE OF THE COMPONENTS OF FOREST ECOSYSTEMS IN CARBON ACCUMULATION AS FACTOR IN MAINTAINING THEIR STABILITY TO EXTERNAL IMPACTS

*The article provides a brief review of different research dealing with carbon accumulation by forest ecosystems. The role of three main carbon pools in forest phytocenosis is analysed. The role of these pools in maintaining ecosystem stability to ambient factors is discussed.*

**Keywords:** carbon accumulation, forest ecosystems, ecosystem stability.

Матеріал надійшов 09.06.2014

УДК 574.24+551.583

Халаїм О. О.

## ВАЛОВА ПРОДУКТИВНІСТЬ ТРАВ'ЯНИХ УГРУПОВАНЬ КАРАДАЗЬКОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА ПІД ВПЛИВОМ ЗМІН КІЛЬКОСТІ ОПАДІВ: ДИНАМІКА 2012–2013 РР.

*У статті проаналізовано сезонну динаміку валової продуктивності трав'яних угруповань південно-східного Криму у 2012–2013 рр. за умов експериментальної зміни режиму зволоження; показано, що трав'яні угруповання з підвищенням опадів на 40 та 60 % можуть слугувати резервуаром вуглекислого газу. Встановлено добові піки продуктивності та дихання екосистеми у червні 2012–2013 рр.*

**Ключові слова:** вуглецевий цикл, степові угруповання, добова динаміка, валова продуктивність екосистеми (GEP), чистий екосистемний обмін (NEE), дихання екосистеми (ER).

Динаміка продуктивності степово-лучних формацій може слугувати важливим індикатором, що характеризує особливості відповіді екосистеми на кліматичні зміни, в тому числі зміни кількості опадів. Відомо [4], що степові екосистеми через власну нестійкість та високу динамічність є одними з найбільш вразливих типів екосистем до змін кліматичних умов. Беручи до уваги характерну аридність степів, слід відзначити також високий рівень чутливості трав'яних угруповань до екстремальних значень саме рівня зволоженості як одного з дефіцитних еколо-

гічних факторів степу [4]. Аналіз змін у динаміці валової продуктивності типчаково-різнотравного степу за різних режимів зволоження є вкрай актуальним завданням, що дозволяє виявити можливі в майбутньому критичні порогові зміни у функціонуванні степів.

Валова продуктивність помірних степів як біому є невисокою; у 1990-х роках вона оцінювалась на рівні 7 % від загальної річної продуктивності наземних екосистем, тоді як внесок тропічних луків становив уже 25,8 % [9]. Надземна фітомаса євразійських степів може коливатися