

Альошкіна У. М., Жовтенко А. А., Вишенська І. Г.,
Расевич В. В., Гаврилов С. О., Ткачова А. О.

АКУМУЛЯЦІЯ ВУГЛЕЦЮ ЛІСОВИМИ ЕКОСИСТЕМАМИ (на прикладі модельних ділянок у заказнику «Лісники», м. Київ)

На основі експериментальних досліджень, проведених на чотирьох моніторингових ділянках лісових екосистем у заказнику «Лісники» (м. Київ) розраховано запаси вуглецю лісовими екосистемами у деревному, чагарниковому, трав'яному ярусах, підстильці та ґрунті. Дубовий ліс (ac. *Convallario majali-Quercetum roboris*) містить 231 т/га вуглецю, ясенево-дубовий (ac. *Ficario-Ulmetum campestris*) – 210 т/га, природний сосновий ліс (ac. *Serratulo-Pinetum*) – 185 т/га, штучні соснові насадження (ac. *Dicrano-Pinetum*) – 177 т/га.

Ключові слова: екосистема, запаси вуглецю, моніторингова ділянка.

Лісові екосистеми відіграють важливу роль у накопиченні органічної маси та акумуляції вуглецю, отже, безпосередньо беруть участь у вуглецевому циклі, впливають на рівень вмісту CO₂ в атмосфері. Кругообіг вуглецю відзначається майже ідеальними циклічними переміщеннями двоокису вуглецю в атмосфері, ґрунті і живих організмах. Такий цикл у глобальному масштабі здійснюється всього за п'ять років, одночасно він сприяє стабілізації органогенів у біолітах (вапняках, вугільних покладах) на довші строки.

Оскільки роботи щодо поглинання вуглецю лісовими екосистемами є актуальними у зв'язку з впровадженням Кіотського протоколу, то оцінці запасів вуглецю присвячено значна кількість сучасних наукових досліджень. Так, для деяких країн були проведені розрахунки динаміки накопичення вуглецю за рахунок збільшення площ під лісовими екосистемами [1–4]. За даними [2], насаджені ліси на місці сільськогосподарських угідь поглинають додатково 1,18 С т/га щорічно, а ґрунти здатні поглинати додатково 0,72–1,12 С т/га/рік [5].

У рамках проекту «Моделі зміни біосфери на основі балансу вуглецю» [6] були проведені дослідження його річного кругообігу в зеленомошних сосняках середньої тайги. В загальному запасі вуглецю фітомаса становила 46 % у молодняку, в середньовіковому її частка збільшувалась до 65 % і практично не змінювалася на наступних стадіях розвитку в досягаючих і перестиглих сосняках. Маса підстилки зростала від 8,6 т С/га в молодняку до 18,8 т С/га в досягаючому сосняку, не змінюючись на наступних стадіях розвитку. Легкий гранулометричний склад підзолів, надзвичайно низький вміст високодисперсних частинок обумовив низькі запаси гуму-

су. Участь гумусу метрового шару ґрунту в формуванні запасу вуглецю насадження не перевищувала 9–18 % (від 1,4 до 3,6 т/га).

В Інституті екології Карпат НАН України І. Шпаківською та О. Марискевич було проведено оцінку запасів органічного вуглецю в основних блоках (надземна і підземна фітомаса, стовбуровий фітодетрит, підстилка і ґрунт) лісів Східних Бескидів [7]. В екосистемах вибраних полігонів у Сколівському та Турківському районах депоновано в середньому 149,1 т/га, найбільше в Майданському районі – 200,0 т/га, з яких найменше – в Росохацькому лісництві – 94,3 т/га. Із загального запасу органічного вуглецю 54,2 % припадають на фітомасу деревостану, 41,4 % – на ґрунтовий профіль до глибини 50 см, 2,5 % – на підстилку, 1,1 % – на піднаметову рослинність і 0,8 % – на стовбуровий фітодетрит.

Національний моніторинг накопичення вуглецю лісовими екосистемами України здійснюється за двома міжнародними програмами: Міжнародна спільна програма оцінки та моніторингу впливу забруднення повітря на ліси в регіоні Європейської економічної комісії ООН (ICP Forests) та Міжнародна програма моніторингу стану лісів США – Forest Health Monitoring (FHM). Основними напрямками моніторингу поглинання вуглецю є дослідження динаміки накопичення, розкладання біомаси й детриту (мортмаси), вимірювання приросту та оцінка піднаметової рослинності, а також оцінка вмісту вуглецю в ґрунтах, що включає періодичне проведення аналізу ґрунтів на постійних ділянках фіксованої площі. За результатами оцінок загальноєвропейської програми моніторингу лісових екосистем, запас вуглецю в стовбуровій біомасі коливається в середньому від 30 до 120 т/га з приростом від 1 до 4 т/га/рік [8].

Фітомаса лісів України становить 1237,2 млн т, в якій акумульовано близько 615 млн т вуглецю (для порівняння загальносвітовий запас – 1,036 млрд т) [9]. За даними державного обліку лісів [10], площа земель лісового фонду в Україні становить 10,8 млн га, з яких 9,5 млн га вкриті лісовою рослинністю. Лісистість становить 15,6 % і є нижчою, ніж в багатьох країнах Європи. До того ж, цей показник значно коливається в регіональному розрізі. Найбільша площа лісів – 42,2 % – зосереджена на Полісі, у Лісостепу їх 23,0 %, Степу – 11,4, Карпатах – 20,0 %, Гірському Криму – 3,4 %. Найбільшу частку покритої лісом площі мають сосна (34,7 %) і дуб (26,3 %). Серед інших деревних порід ялина – 9,9 %, бук – 9,3 %, вільха – 4,2 %, береза – 5,4 %, граб – 3,7 %, ясен – 1,4 %; ялиця – 1,4 %, осика – 1,2 %, інші породи – 2,0 %. Середній запас на 1 га хвойних становить 239 м³, твердолистяних – 197 м³, м'яколистяних – 170 м³, що відповідає запасу вуглецю у фітомасі відповідно 61 т/га, 55 т/га та 53 т/га. Середньорічний приріст деревини на 1 га площі, покритої лісом, дорівнює 4,0 м³, забезпечуючи депонування 1,2 т/га вуглецю на рік. Слід зазначити, що природні лісонасадження хвойних порід, залежно від віку та бонітету, накопичують протягом року від 0,6 т/га до 7,3 т/га, тоді як штучні – від 1,8 до 5,6 т/га вуглецю. У широколистяних лісах, навпаки, штучні насадження лісу є більш продуктивними, накопичуючи на 1 га протягом року від 2,8 т до 9,0 т, тоді як у природних цей показник коливається на рівні 1,2–7,6 т [10].

Отже, на основі проведених досліджень встановлено, що основними депо органічної речовини і, відповідно, вуглецю в лісових екосистемах є фітомаса стовбурів та ґрунт. Проте частка вуглецю, акумульованого у ґрунті, може дуже варіювати залежно від кліматичних умов, типу екосистеми та віку деревостану. У зв'язку з цим, метою нашого дослідження є визначення абсолютних і відносних показників накопичення вуглецю в основних блоках досліджуваних лісових екосистем різного типу та різного походження.

Об'єкти та методи дослідження

Дослідження проводились на прикладі чотирьох стаціонарних моніторингових ділянок (50×50 м) у заказнику «Лісники», Голосіївський НПП (м. Київ).

Перша ділянка (Д1) розташована в дубовому лісі, що знаходиться у заплаві річки Сіверки на невисокому піщаному підвищенні – залишку борової тераси Дніпра, що має назву «Острів Великий». Ділянка є помірно зволоженою дібровою ас. *Convallario majali-Quercetum roboris* Shevchuk & V. Sl. in Shevchuk & al. 96, що належить до союзу *Convallario majali-Quercion roboris* Shevchuk,

V. Sl. 96. Вік найстаріших дерев дуба перевищує 130 років. Високі дерева (середня висота 25 м, діаметр 60 см) *Quercus robur* займають I ярус (зімкненість 0,3), а II густий ярус із зімкненістю 0,8 формують інші листяні породи (*Fraxinus excelsior*, *Tilia cordata*, *Acer platanoides*, *A. campestre*, *A. tataricum*, *Carpinus betulus*) віком до 30 років. Усього на ділянці зареєстровано 221 дерево. Чагарниковий ярус утворений *Coryllus avellana*, трав'яний покрив розріджений. Ґрунт дерново-підзолистий глеуватий.

Друга ділянка (Д2) розташована також в долині р. Сіверки в природному ясеневому-дубовому лісі, що належить до асоціації *Ficario-Ulmetum campestris* Knapp et Medwecka-Kornas 1952 (союз *Alno-Ulmion* Br.-Bl. et R. Tx. ex Tekon 1948), тут домінують *Fraxinus excelsior* віком 90 років (середня висота 25 м, діаметр 50 см), *Tilia cordata*, *Quercus robur* та *Acer platanoides*, чагарниковий ярус формує *Corylus avellana* з участю *Euonymus verrucosa*, *E. europaea*, *Frangula alnus*. Усього на ділянці 110 дерев. Перший ярус розріджений із зімкненістю 0,6, формується густий підріст. У трав'яному покриві навесні зростають ефемероїди *Allium ursinum*, *Corydalis cava*, *C. solida*. Ґрунти дерново-глеуваті на суглинкових відкладах.

Третя ділянка (Д3) розташована у западині між двома боровими піщаними грядками еолового походження у природному сосновому лісі асоціації *Serratulo-Pinetum* (W. Mat. 1981) J. Mat. 1988 (союз *Dicrano-Pinion* (Libbert 1933) Matuszkiewicz 1962). У першому ярусі – *Pinus sylvestris* віком 100–120 років, середня висота 23 м, діаметр 50 см, у другому – *Quercus robur*, у підрослі – *Populus tremula*, *Betula pendula*, *Sorbus aucuparia*, *Pyrus communis*. Усього на ділянці 70 дерев. Чагарниковий ярус відсутній, зрідка зростають *Rubus idaeus*, *Chamaecytisus ruthenicus*. Трав'яний покрив густий з присутністю мохів. Ґрунти дерново-прихованопідзолисті.

Четверта ділянка (Д4) розташована у сосновому лісі, утвореному штучними насадженнями *Pinus sylvestris* віком понад 60 років, середня висота – 17 м, діаметр 20 см, зімкненість 0,7. Ділянка належить до асоціації *Dicrano-Pinetum* Preising et Knapp 1942 (союз *Dicrano-Pinion* (Libbert 1933) Matuszkiewicz 1962). Чагарниковий ярус розріджений, сформований *Frangula alnus*, *Crataegus curvisepala*, *Berberis vulgaris*, в підрослі – *Tilia cordata*, *Padus avium*, *Sorbus aucuparia*, мохово-трав'яний ярус плямистий. Усього на ділянці 212 дерев. Посадки створені на потужних покладах піску борової тераси річки Дніпро. У зв'язку з тим, що ґрунтові води залягають глибоко, то в бідних вологодефіцитних сухих умовах формуються приховано-підзолисті ґрунти з погано виявленими ґрунтовими горизонтами.

Визначення вмісту вуглецю у фітомасі, опаді та ґрунті здійснювали на основі отриманих даних запасів біомаси та енергемісткості ґрунтів. Оцінку біомаси здійснювали стандартними методами з визначенням висоти та діаметру дерев та кущів, пофракційні співвідношення біомаси визначали за методикою Усольцева [11]. Об'єм деревини визначали за [12], отримані значення через показники базисної щільності [13] переводили в одиниці маси сухої органічної речовини. Частку вуглецю у деревині брали за 0,5 для не-деревних частин, опадів і піднаметової рослинності – 0,45. Для оцінки вмісту вуглецю у ґрунті використано власні дані експериментальних досліджень з енергемісткості профілів ґрунту на цих дослідних ділянках. Енергемісткість ґрунту розраховували через вміст сухої органічної речовини, отриманий методом сухого випалювання та через коефіцієнт 18 кДж/г . За допомогою співвідношення $Q = 37300 C$, де Q – енергетична ємність (Дж/м^3), C – маса вуглецю (кг), розраховували запас вуглецю [14].

Результати досліджень

На основі отриманих експериментальних досліджень на ділянках моніторингу нами були розраховані запаси вуглецю, акумульовані у чотирьох типах лісових екосистем (табл. 1).

Таблиця 1. Запаси вуглецю, акумульованого основними компонентами лісових екосистем в межах дослідних моніторингових ділянок у заказнику «Лісники» (т/га)

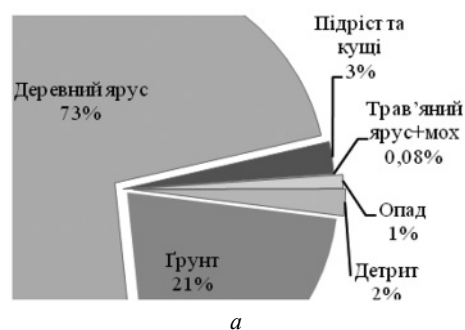
Компоненти екосистеми	Д1	Д2	Д3	Д4
Деревний ярус	169,1	136,9	113,7	109,9
Підріст та кущі	5,6	11,1	0,5	1,2
Трав'яний ярус	0,18	1,1	0,6	0,4
Моховий покрив	-	-	1,2	0,8
Опад	2,4	2,6	4,8	16,7
Детрит	4,7	5,5	7,8	10,2
Ґрунт	49,4	52,8	56,2	47,0
Разом	231,4	210,0	184,8	177,3

Отже, отримані значення є дещо вищими за усереднені дані з акумуляції вуглецю лісовими екосистемами, наведеними для України [10]. Найбільше вуглецю акумульовано на ділянках листяних лісів зі стиглим деревостаном: дубовому (Д1) та ясенево-дубовому (Д2). Менше – на ділянках соснових лісів (Д3 та Д4).

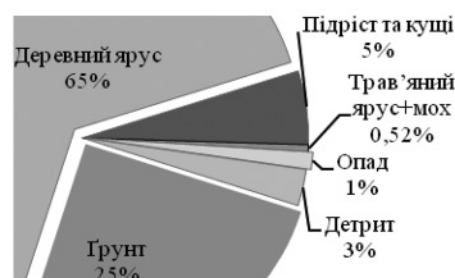
На рис. 1 показано співвідношення накопичення вуглецю різними компонентами лісових екосистем.

Основну роль в акумуляції вуглецю (62–73 % у нашому дослідженні) відіграє деревостан. У чагарниковому ярусі та підрості у підліску зафіксовано 0,3–5 %, у трав'яному ярусі – 0,01–0,1 % запасу вуглецю (рис. 1), в соснових

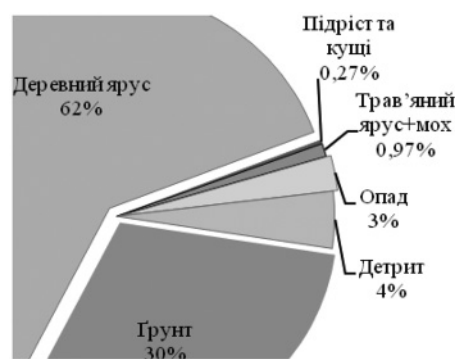
лісах значну роль в накопиченні вуглецю у нижньому ярусі відіграє моховий покрив (табл. 1).



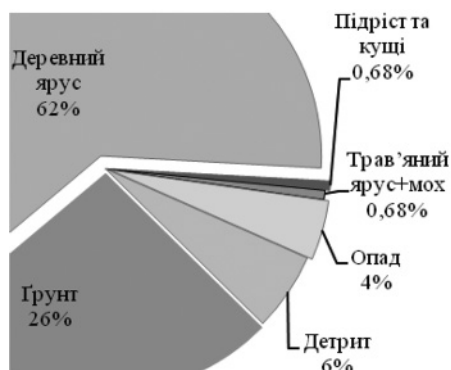
а



б



в



г

Рис. 1. Розподіл накопичення вуглецю основними компонентами лісових екосистем у межах дослідних моніторингових ділянок у заказнику «Лісники»: а – дубовий ліс (Д1); б – ясенево-дубовий ліс (Д2); в – сосновий природний ліс (Д3); г – штучні соснові посадки (Д4)

Одним із ключових індикаторних компонентів лісових біогеоценозів є лісова підстилка, що фор-

мується за рахунок щорічного опадів і є основним джерелом та регулятором трансферу вуглецю від автотрофного блоку до ґрунту. Основна маса опадів (~90 %) у листяних лісах надходить восени під час листопаду (вересень-жовтень) і визначається як типом лісорослинних умов, так і кількістю опадів – у сухі роки його кількість може бути вдвічі меншою, ніж у вологі. За результатами наших досліджень, підстилка (опад+детрит) формує 3–10 % запасів вуглецю лісових екосистем.

Ґрунт акумулює 21–30 % вуглецю в досліджуваних екосистемах, і є другим за значенням після деревної фітомаси депо, що забезпечує найбільше консервування вуглецю.

На основі розрахованих нами співвідношень можна зробити висновок, що вміст вуглецю у компонентах екосистем, задіяних в однорічному кругообігу, а саме: листі, траві, опаді, – становить 3–5 % від задіяного у кругообігу вуглецю досліджуваних лісових екосистем.

Дякуємо канд. с.-г. наук, доц. кафедри екології НаУКМА В. О. Андрієнко за допомогу в закладанні профілів та визначенні типу ґрунтів на досліджуваних ділянках, а також студентам-екологам НаУКМА А. В. Олексієнко та О. Б. Красієву за визначення енергозапасу ґрунтів.

Література

1. Лось Н. М. Лісові екосистеми Центрального Полісся в контексті запобігання зміні клімату / Н. М. Лось // Науковий вісник НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.1. – С. 47–51.
2. Alberti G. 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.
3. Byrne K. Carbon stocks and sequestration in plantation forests in the Republic of Ireland / K. Byrne, R. Milne // *Forestry*. – 2006. – Vol. 79. – No. 4. – P. 361–369.
4. Sasaki N. Biomass carbon sinks in Japanese forests : 1966–2012 / N. Sasaki, S. Kim // *Forestry*. – 2009. – Vol. 82. – No. 1. – P. 113–123.
5. Harrison A. F. Carbon storage in forest soils / A. F. Harrison, P. J. Howard, D. M. Howard, D. C. Howard, M. Hornung // *Forestry*. – 1993. – Vol. 68. – No. 4. – P. 335–348.
6. Модели изменения биосферы на основе баланса углерода (по натуральным и спутниковым данным и с учетом вклада бореальных экосистем) // Промежуточный отчет по междисциплинарному интеграционному проекту № 50 за 2009 г. Учреждение Российской академии наук. Сибирское отделение РАН. – Новосибирск, 2009. – 98 с.
7. Шпаківська І. М. Оцінка запасів органічного вуглецю в лісових екосистемах Східних Бескидів / І. М. Шпаківська, О. Г. Марискевич // Лісівництво і агролісомеліорація. – 2009. – Вип. 115. – С. 176–180.
8. 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.
9. Лакида П. И. Динамика запасов углерода в лесах Украины / П. И. Лакида // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. – 2001. – Вып. 56. – С. 86–90.
10. Лісове господарство України : проблеми та перспективи / за ред. академіка НАН України І. Р. Юхновського [Міжвідомча аналітично-консультативна рада з питань розвитку продуктивних сил і виробничих відносин]. – К. : [б. в.], 2003. – 178 с.
11. Усольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии : нормативы и элементы географии / В. А. Усольцев. – Екатеринбург : УрОРАН, 2002. – 763 с.
12. Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии / под. ред. А. З. Швыденко и др. – К. : Урожай, 1987. – 560 с.
13. Боровиков А. М. Справочник по древесине / А. М. Боровиков, Б. Н. Уголев. – М. : Лесн. пром-сть, 1989. – 296 с.
14. Роде А.А. Почвоведение / А. А. Роде. – М.; Л. : Гослесбумиздат, 1955. – 524 с.

U. Alioshkina, A. Zhovtenko, I. Vyshenska, V. Rasevych, S. Gavrylov, A. Tkachova

CARBON ACCUMULATION BY FOREST ECOSYSTEMS (by the example of “Lisnyky” zakaznyk, Kyiv)

On the base of field studies on four monitoring plots in “Lisnyky” zakaznyk (Kyiv), the carbon stock of the forest ecosystems in wood, bush, grass layers, litter and soils has been evaluated. Oak forest (ass. *Convallario majali-Quercetum roboris*) accumulates 231 C t/ha, ash-oak forest (ass. *Ficario-Ulmetum campestris*) – 210 C t/ha, natural pine forest (ass. *Serratulo-Pinetum*) – 185 C t/ha, planted pine forest (ass. *Dicrano-Pinetum*) – 177 C t/ha.

Keywords: ecosystem, carbon stock, monitoring plots.

Матеріал надійшов 04.08.2011