

УДК 574.4 + 581.55

Вишенська І. Г., Рудько М. А.

ЕМІСІЯ CO₂ ГРУНТУ І ПІДСТИЛКИ ЛІСОВИХ ФІТОЦЕНОЗІВ РІЗНОГО ТИПУ

У статті подано результати дослідження емісії вуглекислого газу лісової підстилки та ґрунту двох лісових фітоценозів різного типу (хвойний сосновий і широколистяний дубовий ліси). Встановлено, що у сосновому лісі був вищий порівняно з дубовим рівень вивільнення вуглекислого газу, при цьому в обох типах лісів найбільша частка емісії CO₂ припадала на дихання ґрунту і становила відповідно 76 і 70 % від загальної емісії. Показано, що відмінності емісії вуглекислого газу лісової підстилки та ґрунту різних фітоценозів залежали від температури, вологості, вмісту в них органічної речовини та особливостей процесу її розкладання. Загалом дослідження підтвердило важливість моніторингу коефіцієнта викидів CO₂ для лісової підстилки та дихання ґрунту як показників стабільності функціонування лісових екосистем в умовах зміни клімату.

Ключові слова: лісова підстилка, емісія CO₂, ґрунтове дихання, кліматичні фактори, лісові фітоценози.

Вступ

Біосферна роль лісових екосистем полягає у стабілізації рівня атмосферного вуглекислого газу і визначається кількісним вмістом та якісним складом органічної речовини, що акумульована в фітомасі, фітодетриті та гумусі ґрунту [5,9].

Вивчення емісії діоксиду вуглецю з ґрунту в атмосферу тісно пов'язано з проблемою парникового ефекту і глобальними змінами клімату, а також посідає важливе місце в загальній системі моніторингу та в системі природоохоронних заходів. Зокрема, прогнозування вмісту вуглекислого газу в атмосфері базується на розрахунках балансу вуглецю, що визначається відношенням між поглинанням атмосферного CO₂ в процесі фотосинтезу і виділенням його в результаті розкладу органічних речовин.

Метою роботи було дослідження та порівняльний аналіз ґрунтового дихання і емісії вуглекислого газу з лісової підстилки та ґрунту в широколистяному і хвойному лісах для оцінки

ролі лісових фітоценозів різного типу в депонуванні CO₂ як важливого парникового газу.

До ключових складових емісії вуглекислого газу в лісових екосистемах належать ґрунт і підстилка. Ґрунтове дихання – це важлива ланка вуглецевого циклу в наземних екосистемах, що визначається метаболічною активністю ґрунтової мікрофлори, кореневої системи рослин і фауни ґрунту.

Різним типам лісових фітоценозів притаманні відмінні темпи утворення опаду й інтенсивності деструкції. За даними низки авторів [1,7], у хвойних лісах хвоя опадає приблизно рівномірно упродовж року, а в листяних, надходження майже усього опаду зосереджено в осінній період, починаючи з другої половини вересня. Зокрема, згідно з даними Я. П. Дідуха та С. О. Гаврилова [3], у структурі підстилки широколистяного лісу активна фракція становить 66–71 %, а решту енергопотенціалу – неактивна фракція. А в сосновому лісі активна фракція сягає 67–69 %. Товщина лісової підстилки значно варіює. У хвойних лісах вона більша,

ніж у листяних, і збільшується у вологих місцях [6]. За даними Я. П. Дідуха [2], швидкість розкладання підстилки коливається в межах від двох (листяні ліси) до семи років (хвойні).

Також у наших попередніх дослідженнях [1] виявлено значні відмінності у складі та характері формування лісової підстилки хвойних і листяних фітоценозів, а саме, більший на 10 % запас органічної речовини та запас енергії в лісовій підстилці соснового лісу та постійно високу частку енергетичного потенціалу детриту в сосновому фітоценозі.

Дихання ґрунту відображає інтенсивність біохімічних процесів, що продукують вуглекислий газ. А його емісія є сумарним результатом життєдіяльності мікроорганізмів і ґрунтової фауни, дихання коренів і окремих фізико-хімічних і хімічних процесів, що відбуваються у ґрунтах [5]. Загалом біологічна активність ґрунту являє собою сукупність біологічних процесів, що відбуваються під час функціональної активності ґрунтової біоти. Основними показниками мікробіологічної активності є дихання ґрунту, ферментативна активність, чисельність і біомаса мікроорганізмів [4]. Низка дослідників виявили менший внесок кореневого дихання в емісію вуглекислого газу в лісових екосистемах порівняно з трав'янистими. Це пояснюється нижчою дихальною активністю коренів деревних рослин. Також встановлено, що внесок дихання коріння в емісію CO₂ вищий у молодих лісах (20–50 %), ніж у зрілих, де він становить 6–25 % [2,8].

Показники трансформації лісової підстилки і, зокрема, швидкість розкладання мертвої органічної речовини можуть слугувати критерієм, що визначає стійкість біогеоценозу і дає змогу визначити якісні та кількісні показники малого біотичного кругообігу.

Об'єкти та методи дослідження

Дослідження проводили у ботанічному заказнику загальнодержавного значення «Лісники», який розташований у зеленій зоні м. Києва та належить до Національного природного парку «Голосіївський». Територія парку належить до лісостепової зони, більше ніж 90 % займають ліси, решту – болота і водойми. Ґрунти сформовані на лесових відкладах, відносно багаті. Під дубово-грабовими лісами переважають сірі лісові ґрунти, під сосновими і сосново-дубовими – дерново-підзолисті, у заплавах трапляються лучні, а також дернові ґрунти. НПП «Голосіївський» розташований у ділянці помірно-

континентального клімату з фоновим мікрокліматичним впливом великого індустріального міста. Зокрема, територія заказника «Лісники» розташована в долині річки Дніпро, тут росте переважно лісова, а також трапляється лучна, водна та болотна рослинність. У різних напрямках заказника переважають дубові, дубово-соснові ліси, а також певну частину території займають вільхові ліси та вільхові болота [2].

Дослідження емісії вуглекислого газу проводили на двох стаціонарних моніторингових ділянках розміром 50 × 50 м.

Перша ділянка (Д1) – помірно зволожена діброва, розташована в дубовому лісі, що росте у заплаві річки Сіверки на піщаному підвищенні – залишку борової тераси Дніпра, який має назву «Острів Великий». Ділянка представлена асоціацією *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 – понад 130 років. І ярус формують високі дерева *Quercus robur* (середня висота 25 м, діаметр – 60 см), II густий ярус формують інші листяні породи (*Fraxinus excelsior*, *Tilia cordata*, *Acer platanoides*, *A. campestre*, *A. tataricum*, *Carpinus betulus*) віком до 30 років. Ґрунт на ділянці – дерново-підзолистий глеюватий. Координати ділянки: N = 50°17'48" та E = 30°32'30", 106 м над рівнем моря.

Друга ділянка (Д2) представлена асоціацією *Dicrano-Pinetum* Preising et Knapp 1942 (союз *Dicrano-Pinion* (Libbert 1933) Matuszkiewicz 1962). Розташована у сосновому лісі, утвореному штучними насадженнями *Pinus sylvestris* віком понад 60 років (середня висота – 17 м, діаметр – 20 см, зімкненість – 0,7). До складу чагарникового ярусу належать *Frangula alnus*, *Crataegus curvisepala*, *Berberis vulgaris*, в підрості – *Tilia cordata*, *Padus avium*, *Sorbus aucuparia*, мохово-трав'яний ярус плямистий. Насадження ділянки створені на потужних покладах піску борової тераси Дніпра. Ґрунт – приховано-підзолистий. Координати збору даних на другій ділянці: N = 50°17'25" та E = 30°34'58", 115 м над рівнем моря.

Емісію CO₂ з ґрунту та підстилки досліджували камеро-статистичним методом за допомогою замкненої системи для вимірювання концентрації вуглекислого газу CO650 Plant CO2 Analysis Package K7M 3X9 Qubit Systems inc., Canada. Для дослідження було обрано випадковим чином по 5 точок на кожній ділянці. Дані збирали окремо по ґрунту та ґрунту з підстилкою, а в дубовому лісі ще й із ґрунту з детритом.

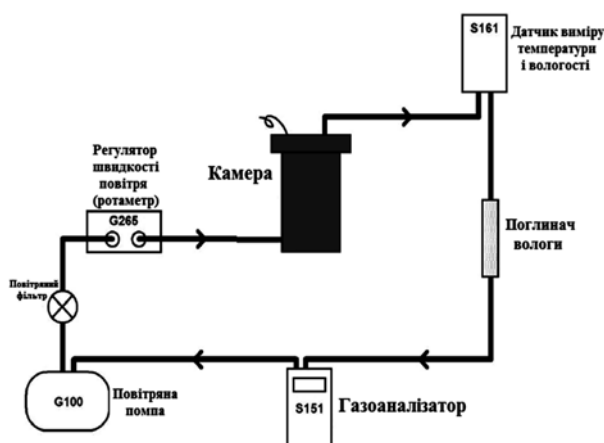


Рис. 1. Схема системи для вимірювання концентрації вуглекислого газу (виробник Qubit Systems, Канада) [10]

Тривалість вимірювань становила 10 хвилин на кожній точці. На початку дослідження вимірювали температуру ґрунту та підстилки аналоговим термометром.

Система вимірювання потоку вуглекислого газу (рис. 1) забезпечує пропускання повітря з визначеною швидкістю через респіраційну камеру, яку встановлювали у ґрунт або у ґрунт із підстилкою дослідної ділянки. Швидкість проходження повітря регулювали повітряною помпою і ротаметром. Концентрацію вуглекислого газу вимірювали інфрачервоним газоаналізатором. Одночасно відбувався контроль температури та вологості повітря в системі за допомогою блоку сенсорів. Отримані дані в режимі реального часу через дата-логгер (Logger Pro 3) вносили до бази даних [10].

Статистичну обробку проводили за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel. Вимірювання проводили восени 2016 р.

Результати та їх обговорення

У дубовому лісі (Д1) проведено виміри емісії CO₂ з ґрунту, ґрунту з підстилкою та ґрунту з детритом. Одержані результати представлено у табл. 1. До таблиці також внесено показники

Таблиця 1. Емісія CO₂ у широколистяному лісі

Складові	Показник		
	t, °C	Hd, %	мкмоль CO ₂ ·м ⁻² ·хв ⁻¹
Ґрунт	24,7	41,3	17,48 ± 1,72
Ґрунт + детрит	–	–	21,51 ± 1,08
Ґрунт + детрит + листя	–	–	22,86 ± 2,42
Листова складова підстилки	22,8	42,1	1,35 ± 0,01
Детрит	23,6	43,4	4,03 ± 0,03

температури та вологості кожного з компонентів під час вимірювання.

Емісія CO₂ з ґрунту та підстилки (детрит+листя) коливалася від 21,86 до 23,67 мкмоль CO₂·м⁻²·хв⁻¹, середнє значення становило 22,86 мкмоль CO₂·м⁻²·хв⁻¹. Зокрема, виділення вуглекислого газу ґрунтом у середньому становило 17,48 мкмоль CO₂·м⁻²·хв⁻¹, а ґрунту з детритом – 21,51 мкмоль CO₂·м⁻²·хв⁻¹.

Своєю чергою окремо у дубовому лісі було пораховано швидкість виділення вуглекислого газу, що припадає на листову складову підстилки та детрит (див. табл. 1). Кількість CO₂, що виділяється листовою частиною підстилки, становить 1,35 мкмоль CO₂·м⁻²·хв⁻¹, а детритом – 4,03 мкмоль CO₂·м⁻²·хв⁻¹.

Отже, у дубовому лісі найбільша частка емісії CO₂ припадала на дихання ґрунту, а найменша – на листову частину підстилки. У відсотковому співвідношенні приблизно 76 % вуглекислого газу виділяється ґрунтом, 18 % – детритом і 6 % – опалим листям.

У сосновому лісі (Д2) емісію вуглекислого газу досліджували з ґрунту та ґрунту з підстилкою, дані відображено у табл. 2. Також було розраховано кількість CO₂, яка виділялась із листової складової підстилки та детриту.

Таблиця 2. Емісія CO₂ у хвойному лісі

Складові	Показник		
	t, °C	Hd, %	мкмоль CO ₂ ·м ⁻² ·хв ⁻¹
Ґрунт	7,7	64,7	27,28 ± 1,33
Ґрунт + лісова підстилка	–	–	39,37 ± 2,04
Листова складова + детрит	8,1	66,1	12,09 ± 1,72

Емісія CO₂ ґрунту та підстилки у сосновому лісі коливалася в межах від 29,86 до 51,93 мкмоль CO₂·м⁻²·хв⁻¹. Середнє значення становило 39,37 мкмоль CO₂·м⁻²·хв⁻¹. Кількість вуглекислого газу, що виділяється лісовою підстилкою, становила в середньому 12,08 мкмоль CO₂·м⁻²·хв⁻¹, а ґрунтом – 27,28 мкмоль CO₂·м⁻²·хв⁻¹.

При проведенні вимірювань спостерігалось нерівномірне виділення CO₂ на точках збирання даних. Причиною цього могли бути різна товщина підстилки та показники температури й вологості.

Найбільша частка емісії CO₂ в хвойному лісі припадала на дихання ґрунту і складала приблизно 70 % емісії, а на лісову підстилку – приблизно 30 %.

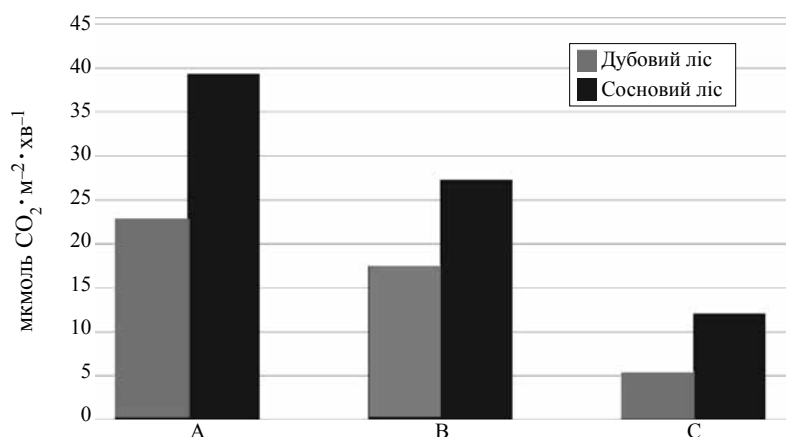


Рис. 2. Емісія CO₂:
А – грунт і підстилка;
В – грунт;
С – листова складова підстилки і детрит

Аналіз показників дихання ґрунту та лісової підстилки для кожного типу лісових фітоценозів показав, що емісія вуглекислого газу була більшою у хвойному лісі порівняно із широколистяним (рис. 2).

Розподіл частки виділеного вуглекислого газу складовими лісових екосистем різного типу зображено на рис. 3.

Виявлено, що в дубовому і у сосновому лісі найбільша частка емісії CO₂ припадала на дихання ґрунту (рис. 3). Для першого фітоценозу вона становила 76 % загальної емісії, а для другого – 70 %. Частка виділення вуглекислого газу підстилкою у листяному лісі складає 24 %, а у хвойному – 30 %.

Отже, частка вуглекислого газу, яка виділяється підстилкою, була більшою у сосновому лісі. При аналізі літературних джерел [5–7] було виявлено, що швидкість розкладання підстилки більша у листяному лісі, тому й більш інтенсивну емісію CO₂ можна було б очікувати в широколистяному фітоценозі. Але процес розкладання підстилки упродовж року відбувається нерівномірно. Найбільш інтенсивним у листяному лісі він спостерігається навесні та влітку,

у хвойному лісі розклад органіки є більш рівномірним [6]. Це дослідження проводили восени, і воно відобразило ситуацію на цей період року.

Отже, більша емісія CO₂ у сосновому лісі може бути спричинена як початково вищим запасом органічної речовини у лісовій підстилці та ґрунті, так і підвищеною вологістю ґрунту, оскільки в середньому на момент вимірювань для хвойного фітоценозу цей показник становив 65 %, а для листяного – 42 %. Підвищена вологість спричинила збільшення мікробіологічної активності, що своєю чергою призвело до більш інтенсивного виділення CO₂.

Висновки

Проведені дослідження показали, що в дубовому і сосновому лісах найбільша частка емісії CO₂ припадала на дихання ґрунту. Для першого фітоценозу вона складала 76 % загальної емісії, а для другого – 70 %. Частка виділення вуглекислого газу підстилкою у широколистяному та хвойному лісах становила відповідно 24 і 30 %.

Порівняльний аналіз сумарної емісії вуглекислого газу з лісової підстилки та ґрунту для різних типів фітоценозів засвідчив вищий рівень

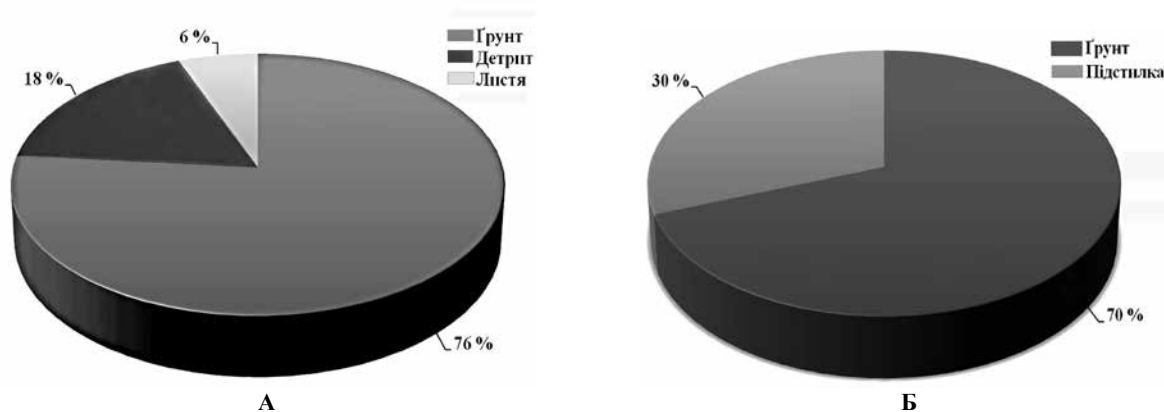


Рис. 3. Частки складових емісії вуглекислого газу в дубовому (А) та сосновому (Б) лісах

емісії CO₂ у сосновому лісі порівняно з дубовим. При цьому важливо зазначити, що запас органічної речовини у лісовій підстилці та ґрунті хвойного фітоценозу був вищим за цей показник у широколистяному. Отримані результати підтвердили, що серед факторів, які впливають на інтенсивність емісії CO₂, найважливішими є температура, вологість, тип ґрунту, вміст органічних речовин у ґрунті та тип рослинності. Отримання більш повної картини процесу вивільнення вуглекислого газу в лісових екосистемах потребує проведення додаткових досліджень у різні періоди року.

Загалом, проведене дослідження засвідчило важливість моніторингу показника емісії CO₂ з лісової підстилки та ґрунту як показника стабільності функціонування лісової екосистеми в умовах глобальної зміни клімату.

Роботу виконано в рамках науково-дослідного проекту «Прогностичне моделювання енергетичних потоків зональних екосистем України за умов зміни клімату» (номер держреєстрації 0115U000389) Центру досліджень екосистем, змін клімату і сталого розвитку НаУКМА у співпраці з Інститутом ботаніки ім. М. Г. Холодного НАНУ.

Список літератури

1. Вишенська ІГ, Дідух ЯП, Скіданова АА, Альошкіна УМ. Порівняльна оцінка енергетичного запасу лісової підстилки хвойних та листяних типів фітоценозів. Наукові записки НаУКМА. Сер. Біологія та екологія. 2009;93:40–44.
2. Дідух ЯП, Альошкіна УМ. Біотопи міста Києва. Київ: НаУКМА, Аграр Медіа Груп; 2012. 163 с.
3. Дідух ЯП, Гаврилов СО. Динаміка запасу та енергетичного потенціалу підстилки лісових екосистем за період вегетації 2007 р. (на прикладі модельних ділянок заказника «Лісники», м. Київ). Український фітоценологічний збірник. 2007; Сер. С(25):19–26.
4. Мекіч МЗ, Джура НМ, Терек ОІ. Функціональне і прикладне значення біологічної активності ґрунту. Біологічні студії. 2013;7(3): 247–258.
5. Рожак ВП. Пулі і потоки вуглецю в лісових екосистемах Стрийсько-Сянської Верховини (Українські Карпати). Біологія та валеологія. 2014;16:85–95.
6. Соколенко УМ, Дідух ЯП, Расевич ВВ, Гаврилов СО. Сезонна динаміка лісової підстилки та її зв'язок з показниками кліматичних факторів (на прикладі заказника «Лісники», м. Київ). Науковий вісник НЛТУ України. 2014; 24.3:49–56.
7. Чорнобай ЮМ. Трансформація рослинного детриту в природних екосистемах. Львів: ДЛМ НАН України; 2000. 352 с.
8. Шпаківська ІМ. Дихання коренів та його вклад у емісію CO₂ буроземними ґрунтами на верхній межі лісу Чорногори (Українські Карпати). Біологія та валеологія. 2010; 12:141–7.
9. Edwards NT, Harris WF. Carbon cycling in a mixed deciduous forest floor. Ecology. 1977;58.2:431–7.
10. Qubit Systems Soil Respiration Package Instruction Manual. Qubit Systems Inc., Canada. 2009. 46 p.

I. Vyshenska, M. Rudko

SOIL AND FOREST BEDDING CO₂ EMISSION IN DIFFERENT TYPES OF FOREST PHYTOCOENOSIS

The article presents the results of the study of carbon dioxide emission of forest litter and soil in two forest phytocoenoses of different types (coniferous pine and broadleaf oak forests). The study is aimed to measure and compare soil respiration and carbon dioxide emission from forest litter in broadleaf and conifer forests to assess the role of different forest phytocoenoses in the deposition of CO₂ as an important greenhouse gas. The study of carbon dioxide emissions is conducted on two monitoring plots of 50 × 50 m size. The first plot (D1) is a moderately moistened oak forest, located in the floodplain of the river Siverka on the sod-podzolic glei area. The plot vegetation is represented by the association Convallario majaliquercetum roboris Shevchyk & V. Sl. in Shevchyk & al. 96.

The second plot (D2) is represented by the association Dicrano-Pinetum Preising and Knapp 1942 (Dicrano-Pinion Union (Libbert 1933) and located in a pine forest formed by Pinus sylvestris artificial plantations. CO₂ emission from soil and litter in oak forest amount to 22.86 ± 2.42 mkmol CO₂ · m⁻² · min⁻¹. The contribution of soil respiration is 17.48 ± 1.72 mkmol CO₂ · m⁻² · min⁻¹.

The soil respiration rate in the pine forest is 27.28 ± 1.33 CO₂ · m⁻² · min⁻¹, and the total emissions of the forest bedding amounts to 39.37 ± 2.04 mkmol CO₂ · m⁻² · min⁻¹. A higher level of total carbon dioxide outflow is established in coniferous pine forest. The largest part of CO₂ emissions in both types of forests has been found on soil respiration that is 76 % and 70 % of total emissions, respectively. Apparently, differences in carbon dioxide emissions of forest bedding and soil respiration of different phytocoenoses depend on temperature, humidity, content of organic matter in them, and the process of its decomposition. Overall, the study confirms the importance of monitoring the CO₂ emission factor for forest bedding and soil respiration as indicators of the stability of forest ecosystem functioning in conditions of climate change.

Keywords: forest bedding, CO₂ emission, soil respiration, climatic factors, forest phytocoenoses.