УДК 631.43
DOI https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.110-2.30

МЕТОДОЛОГІЯ МОНІТОРИНГУ CO_2 У СИСТЕМІ «ҐРУНТ – АТМОСФЕРА – РОСЛИНА» ТА ДОБОВИЙ БІОЛОГІЧНИЙ КОЛООБІГ ВУГЛЕЦЮ ҐРУНТІВ АГРОЛАНДШАФТІВ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

Трофименко П.І. *– к.с.-г.н., доцент,*
завідувач кафедри екологічного моніторингу,
геоінформаційних та аерокосмічних технологій,
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
Іванік О.М. *– д.г.н., професор,*
завідувач кафедри загальної та історичної геології,
Навчально-науковий інститут «Інститут геології»
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
Трофименко Н. В. *– к.е.н., асистент кафедри геоінформатики,*
Навчально-науковий інститут «Інститут геології»
Київського національного університету імені Тараса Шевченка

У роботі висвітлено питання розробки методології моніторингу вмісту CO_2 у системі «ґрунт – атмосфера – рослина» та досліджено добовий біологічний колообіг вуглецю рослинності на ґрунтах агроландшафтів Полісся України.

Показано, що формування емісійно-асиміляційного режиму ґрунтів агроландшафтів залежить від їх типу, належності до угіддя, характеру наявної рослинності, комплексу абіотичних і біотичних чинників, а також особливостей використання.

В умовах insitu встановлено, що у перебігу добового біологічного колообігу вуглецю і формуванні величин емісії з ґрунту (ECO_2) та асиміляції (MCO_2) на ґрунтах агроландшафтів із наявною на них рослинністю домінуючу роль відіграють температура, вологість ґрунту та концентрація CO_2 у приземному (надґрунтовому) шарі атмосфери. Залежно від прояву сумісного впливу зовнішніх чинників атмосфери (рухів потоків повітря, атмосферного тиску), значення коефіцієнтів кореляції величин (ECO_2) і (MCO_2) з температурою ґрунту та концентрацією CO_2 у надґрунтовому шарі повітря набували як позитивних, так і негативних значень, відповідно ($-0,65 > r > 0,89$) і ($-0,88 > r > 0,92$).

Визначені в ході досліджень добові значення GPP дозволили оцінити асиміляційну здатність наявної на земній поверхні рослинності у складі агроландшафтів. З урахуванням належності до певного угіддя, ґрунту та поширеної рослинності ґрунти оцінено за зниженням ролі у регулюванні вуглецевого режиму атмосфери: торфово-болотний добررозкладений ґрунт на сучасному алювії, болото, болотяна рослинність > ясно-сірий опідзолений супіщаний на лесовидних суглинках, рілля, люцерна II–IV років використання > лучний глейовий крупнопилувато-легкосуглинковий на сучасному алювії, сіножать, лучна рослинність.

Встановлено, що в період завершення активної вегетації рослинності в добовому біологічному колообігу вуглецю на торфово-болотному добре розкладеному та ясно-сірому опідзоленому супіщаному автотрофному ґрунтах заплави р. Десна, обсяги діоксиду вуглецю у вигляді фотосинтетичного стоку CO_2 перевищують його емісію. Добова емісія двоокису вуглецю з лучного глейового крупнопилувато-легкосуглинкового ґрунту (ECO_2) незначно перевищує обсяги (MCO_2), що зумовлено його значно нижчим асиміляційним потенціалом.

Ключові слова: *моніторинг CO_2, добовий біологічний колообіг вуглецю, емісія CO_2, фотосинтетичний стік CO_2, GPP, декарбонізація атмосфери, ґрунти агроландшафтів.*

Trofymenko P.I., Ivanik O.M., Trofimenko N.V. Methodology of CO_2 monitoring in the system "Soil – Atmosphere – Plant" and daily biological circulation of soils carbon within Polissia zone (Ukraine)

The consideration is given to the development of the methodology for CO2 monitoring in the system "soil - atmosphere – plant". The daily biological cycle of carbon in the soils of Polissia (Ukraine) has been researched.

It is shown that the formation of the emission-assimilation regime of soils depends on their type, belonging to the land usage, the nature of the existing vegetation, the complex of abiotic and biotic factors, as well as the features of land use.

In situ conditions, it was proved that the main causes and factors of daily biological carbon cycle and formation of values of soil emission (ECO2) and assimilation (MCO2) on soils are the temperature, soil moisture and concentration of CO2 in the near surface layers of the atmosphere. Depending on the manifestation of the combined influence of the external factors of the atmosphere (air flow movements, atmospheric pressure), the values of correlation coefficients (ECO2) and (MCO2) with the soil temperature and CO2 concentration in the above ground layer of air acquired both positive and negative values, respectively (0,65 > r > 0,89) and (-0,88 > r > 0,92).

The daily values of GPP determined during the studies have allowed estimating the assimilation capacity of the vegetation. Taking into account belonging to a certain soil and vegetation, soils are estimated by reducing the role in the regulation of the carbon regime of the atmosphere. They are peat-swamp well-decomposed soil on the recent alluvium, swamp, marsh vegetation > clear-gray loam, arable land, alfalfa of II–IV years > meadow silt coarse-dusted and light loam on the recent alluvium, hay, meadow vegetation.

It is proved that during the period of the active vegetation in daily biological cycle of carbon on peat-swamp well-decomposed and light-gray sandy autotrophic soils of the Desna river, the volumes of carbon dioxide in the form of photosynthesis exceed the emission. The daily emission of carbon dioxide from meadow silt coarse-gravelly loamy soil (ECO2) slightly exceeds the volumes (MCO2), which is caused by its much lower assimilation potential.

Key words: *CO2 monitoring, daily biological carbon cycle, CO2 emission, photosynthetic CO2 runoff, GPP, atmospheric decarburization, soils of agrolandscapes.*

Постановка проблеми. Вуглекислий газ є важливим компонентом атмосферного повітря, куди він надходить внаслідок дихання живих організмів, розкладання органічної речовини, її мінералізації у ґрунтах, а також згоряння палива, лісових пожеж та ендогенних геологічних процесів [5]. Однак кліматичні зміни, що відбуваються впродовж останнього часу, істотно впливають на кількісний вміст і кругообіг вуглецю біосфери Землі. Відомо, що глобальна зміна клімату – одна з найгостріших екологічних проблем, які стоять перед людством. Згідно з прогнозами провідних фахівців із дослідження клімату протягом наступного століття температура Землі підвищиться на 2–5 градусів за Цельсієм [13; 14]. Такі темпи глобального потепління спричинять серйозні кліматичні зміни, різні екосистеми опиняться під загрозою зникнення. Існують великі проблеми у розумінні фізичних та екологічних наслідків змін клімату.

Необхідність глибокого розуміння кліматичних змін і мінімізація їх впливу на екосистеми є одним із ключових питань дослідження біосфери для збереження її цілісності та функціонування.

У зв'язку зі зміною клімату на Землі внаслідок викидів парникових газів до атмосфери питання зниження їх концентрації останнім часом набуває особливого значення. Наукова спільнота висловлює глибоке занепокоєння з приводу того, що емісійні викиди ставлять під загрозу сучасні підходи до обмеження підвищення температури до 2°C, характерне для доіндустріальної епохи. Сучасна швидкість зміни температури є безпрецедентною. Водночас трансформація циклу вуглецю прискорює підвищення температури повітря, закислення та зниження вмісту кисню (деоксигенацію) в океанах (Bijma et al., 2013) [16], що є причиною зникнення багатьох видів рослин і тварин. Водночас доля «участі» ґрунтів у світо-

вому обсязі атмосферного CO_2, що надходить із різних джерел, становить близько 25–40% [3; 12].

Оскільки уряди багатьох країн світу беруть на себе нові зобов'язання щодо викидів парникових газів, дедалі більше компаній намагаються забезпечити їх скорочення для дотримання відповідного рівня декарбонізації. Не є винятком і Україна. За обсягами викидів парникових газів Україна посідає восьме місце у світі. Деякі з науковців вказують на необхідність оптимізації використання ґрунтово-земельних ресурсів як дієвих компонентів декарбонізації атмосфери (decarbonisation of the atmosphere) [18]. У сільському та лісовому господарстві чільне місце посідають енергоощадні технології виробництва, які передбачають незначні викиди CO_2 до атмосфери. Особливо цінними вважаються підходи, засновані на мінімізації антропогенного впливу на ліси та ґрунти, які не потребують додаткових матеріальних витрат. Найбільш дієвим способом зниження втрат органічного вуглецю ґрунтами агроландшафтів вважають їх виведення зі складу орних земель із переведенням до умовно стабільних угідь [4; 11]. Використання ґрунтів в умовах істотного зменшення інтенсивності їх обробітку забезпечує уповільнення втрат CO_2 внаслідок мінералізації органічної речовини [17].

Органічний стік CO_2 відбувається, головним чином, через фотосинтез наземними рослинами, що функціонують на ґрунтовій поверхні.

Зважаючи на вищевикладене, ґрунти розглядають як дієвий важіль зниження концентрації CO_2 та CO в атмосфері [6; 11]. Водночас слід зауважити, що на рослини припадає найбільша частка асимільованого діоксиду вуглецю [5], який у складі вегетативної маси рослин після відповідної трансформації нагромаджується у ґрунтах у формах, які унеможливлюють його емісію у вигляді CO_2, тобто секвеструється (sequestration).

Зважаючи на вищезазначене та враховуючи важливу очищувальну функцію атмосфери сільськогосподарськими культурами у комплексі з ґрунтами, їх роль у формуванні стоку CO_2з атмосфери з подальшою його трансформацією в ґрунті, є не до кінця вивченою.

Постановка завдання. Мета статті – встановлення закономірностей формування обсягів емісії CO_2 ґрунтами й асиміляції діоксиду вуглецю в системі «ґрунт – атмосфера – рослина» з метою оцінки потенціалу очищувальної здатності атмосфери.

Важливе значення для оцінки масштабів означених процесів відіграють дослідження сезонного, річного та добового циклів інтенсивності ґрунтового дихання й асиміляційної здатності сільськогосподарських культур.

Встановлення величин органічного стоку CO_2 має важливе значення для обґрунтування вихідної балансової величини GPP (Gross Primary Production), яка використовується під час балансових розрахунків кругообігу органічного вуглецю біосфери.

У ході досліджень ставилися такі задачі:

– в умовах insitu дослідити добову динаміку величин концентрації діоксиду вуглецю внаслідок його продукування ґрунтами й асиміляції наземною частиною рослин у складі агроландшафтів;

– визначити інтенсивність емісії та асиміляції CO_2 в системі «ґрунт – атмосфера – рослина» в надґрунтовому шарі повітря, встановити основні зумовлюючі чинники й оцінити ступінь їх впливу;

– встановити величини асиміляції діоксиду вуглецю наземною масою рослин і на основі добових спостережень розрахувати величини GPP.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проведене з використанням методу ключових ділянок на основних ґрунтах Лівобережного Полісся України. На досліджуваній території з найбільш поширеними ґрунтами на різних угіддях були закладені точки та проведено їх прив'язку (табл. 1).

Прив'язку точок здійснено з допомогою GPSmapGARMIN 62 до географічної системи координат WGS 84 з точністю <3м. Як картографічну основу досліджень використано ґрунтові карти масштабу 1:10000. Відбір змішаних ґрунтових зразків здійснено методом конверту (1×1 м) з шару 0–30 см.

У відібраних зразках у лабораторних умовах визначено такі показники: вміст лужногідролізуємого азоту за Корнфілдом, гумусу за Тюріним, фосфору та калію за Кірсановим, pH сольовий, ГОСТ 26483 – 85 [1].

Таблиця 1

Показники родючості ґрунтів, шар 0-30см

Показники родючості					Координати точок, десяткові градуси	
вміст гумусу, %	вміст поживних елементів, мг/кг ґрунту			кислотність, pH_{KCl}	φ	λ
	$N\text{-}NH_4$	P_2O_5	K_2O			
1	2	3	4	5	6	7
ясно-сірий опідзолений супіщаний на LV* (автоморфний), т. 11, люцерна II–IV років використання						
1,0	67,2	118	28,7	5,6	51, 4567422	31,5231671
лучний глейовий крупнопилувато-легкосуглинковий на SA, т. 10, лучна трав'яна рослинність (заплава р. Десна)						
1,9	179,2	148	72,0	5,6	51,4679168	31,4666945
торфово-болотний добрерозкладений ґрунт на SA т. 8, болотяна рослинність (заплава р. Десна)						
-	105,0	58	74,9	5,7	51,4679166	31,4666944

Примітка:*LV – лесовидні відклади;SA – сучасний алювій

Визначення вологості ґрунту у шарі 0–10 см (% об'ємної вологи) проводився методом частотної рефлектометрії з використанням вологоміра MST 3000+ із сенсором SMT 100, забезпечуючи 6-тиразову повторність вимірювань.

Під час визначення обсягів емісії-депонування CO_2 ґрунтом і рослинами різних сільськогосподарських культур використано скляну закриту прозору камеру діаметром d = 0,24м, висотою h = 0,40м, об'ємом V = 0,0180864м^3, яка з'єднувалася із залізною насадкою з гумовим ущільнювачем, що врізалася у ґрунт на глибину 3 см. З метою виокремлення вуглецевих потоків, які надходять із ґрунту й асимілюються або виділяються наземною масою рослини (у світлу та темну частини доби), а також депонуються ними, застосовано різницевий метод, який передбачав синхронізовані вимірювання емісії-депонування CO_2 на ґрунті з рослиною та без неї.

Обсяг CO_2 визначають із врахуванням об'єму рослин за величинами зниження або підвищення газу в повітрі камери протягом п'ятихвилинної експозиції за формулами [8; 19]:

Зміна маси газу в одиниці об'єму повітря за одиницю часу ECO_2 визначається за формулами 1–8 (SI):

$$\text{ECO}_2 = \mu_{\text{CO2}} \frac{H - h_Z}{Rt} \left(\frac{P_2}{T_2} C_{2ppm} - \frac{P_1}{T_1} C_{1ppm} \right), \text{ якщо } \alpha \le 0, \quad (1)$$

або

$$\text{ECO}_2 = \mu_{CO2} \frac{(H - h_Z) P_1}{RtT_1} \left(C_{2ppm} - C_{1ppm} \right), \text{ якщо } \alpha > 0, \quad (2)$$

де: ECO_2 – інтенсивність емісії CO_2 з ґрунту; P_1, T_1 та P_2, T_2– початкове та кінцеве значення тиску і температури всередині ізолюючої камери, відповідно; μ_{CO2}– молярна маса CO_2;H – висота камери; h_Z – глибина зану рення камери у ґрунт; C_1, C_2 – початкова та кінцева концентрації газу (в одиницях ppm або ppb) відповідно; R – універсальна газова стала; t – час, за який проводиться вимірювання; α – коефіцієнт, що відображає зміну початкового об'єму газу в камері внаслідок зміни початкових величин тиску і температури та визначається як:

$$\acute{a} = \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} - 1 \quad (3)$$

Зміну маси газу за одиницю часу (швидкість зміни маси газу) всередині камери Δm визначається за формулою:

$$\Delta m = \Delta E \cdot S \cdot \left(H - \text{h}_\text{Z} - \text{h}_\text{P} \right) \quad (4)$$

де: S_C – площа ґрунту, обмежена камерою; H – висота камери; h_Z– глибина занурення камери в ґрунт; h_P – поправка на об'єм рослини.

Врахування об'єму рослини всередині камери проводиться за формулою:

$$h_P = \frac{V_F}{S_C} \quad (5)$$

де V_F – об'єм рослин.

Величина маси газу, що припадає на одиницю площі камери за одиницю часу B, розраховується за формулою:

$$B = \frac{\Delta m}{S_C} \quad (6)$$

Зміна маси газу (CO_2) внаслідок виділення і поглинання ґрунтом і рослиною M на площі ґрунту S_{soil} протягом певного періоду t_{cer} (для культур суцільного посіву) розраховується за формулою:

$$M = B \cdot S_{soil} \cdot t_{cer} \quad (7)$$

Обрахунок похибок вимірювань проводиться за методикою [7]. Оскільки вклад похибок на висоту камери та глибину її занурення у ґрунт і на концентрацію діоксиду вуглецю у величину відносної похибки «ε» є істотним, а похибки $\frac{\Delta R}{R}$ (≈ 0,0006) та $\frac{\Delta \mu co2}{\mu co2}$ (≈ 0,0001) мають невеликі значення [2], то у процесі обрахунків ними нехтують.

Як наслідок, алгоритм розрахунку набув спрощеного вигляду (формула 8).

$$\varepsilon = \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta H + \Delta h_z}{\Delta H - \Delta h_z} + \frac{\Delta C_{2ppm} + \Delta C_{1ppm}}{|\Delta C_{2ppm} - \Delta C_{1ppm}|} \quad (8)$$

Складниками формули (8) є відносні похибки визначення таких величин:

$\frac{\Delta P}{P}$ – атмосферного тиску у камері,

$\frac{\Delta T}{T}$ – температури повітряної суміші у камері,

$\frac{\Delta t}{t}$ – часу експозиції,

$\frac{\Delta H + \Delta h_z}{\Delta H - \Delta h_z}$ – висоти камери та глибини її занурення у ґрунт,

$\frac{\Delta C_{2ppm} + \Delta C_{1ppm}}{|\Delta C_{2ppm} - \Delta C_{1ppm}|}$ – концентрація діоксиду вуглецю, виміряна газоаналізатором.

Враховуючи те, що знаменник дробу $\frac{\Delta C_{2ppm} + \Delta C_{1ppm}}{|\Delta C_{2ppm} - \Delta C_{1ppm}|}$ може набувати як позитивних, так і негативних значень, величини похибки за зміну концентрації діоксиду вуглецю виміряну газоаналізатором взято під модуль (див. формулу 8) [8; 19].

Обрахунок величини GPP проводили на основі різницевого підходу за формулою 9:

$$\mathrm{GPP} = \sum_{n=1}^{i} \left(ECO_2 - MCO_2 \right) \quad (9),$$

де GPP – сумарний (добовий) обсяг фотосинтетично асимільованого вуглецю, який використовують рослини для формування власної вегетативної маси; n – номер періоду спостережень у добовому циклі досліджень за наявності фотосинтетичного стоку CO_2 (коли виконується умова $MCO_2 \le ECO_2$).

Результати проведених спостережень у добових емісійно-асиміляційних циклах встановлено особливості перебігу процесів продукування ґрунтами CO_2, його асиміляції рослинами та виділення рослинами у темну пору доби представлено на рис. 1.

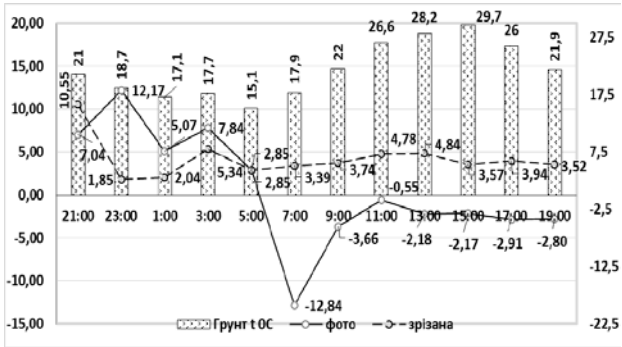
Період спостережень характеризувався завершенням періоду активного формування вегетаційного маси рослин на заплавних та автотрофному ґрунтах.

Результати досліджень добового вуглецевого циклу свідчать про домінуючу роль температури ґрунту і концентрації CO_2 у приземному (надґрунтовому) шарі атмосфери у формуванні емісійно-асиміляційного режиму ґрунтів агроландшафтів, які використовують для вирощування кормових культур.

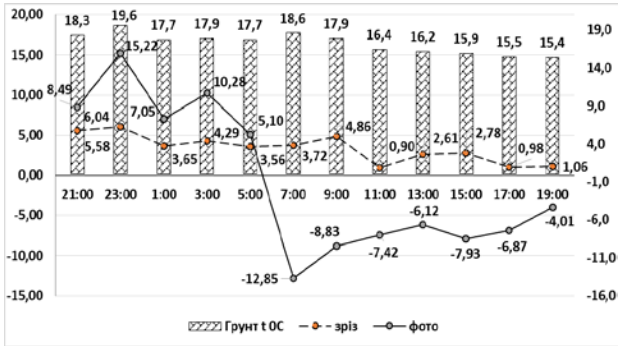
Загалом пік фотосинтетичної асиміляції CO_2 наявною на ґрунтах рослинністю припадав на 7–9 годину ранку і тривав до 16–17 години, поступово припиняючись у зв'язку з відсутністю ФАР. Інтенсивність емісії CO_2 з ґрунту ECO_2 зумовлене зниженням його температури й суттєвим підвищенням концентрації діоксиду вуглецю в приземному шарі атмосфери (до 2–3 разів) порівняно з середньою глобальною концентрацією (до 900–1300 ppm), а також уповільненням рухів повітряних мас, що характерно для цього часу доби.

Помітний вплив на обсяги добової емісії CO_2 ґрунтами спричиняє вищеозначене підвищення концентрації діоксиду вуглецю над земною поверхнею в період із 23.00 до 02.00 години.

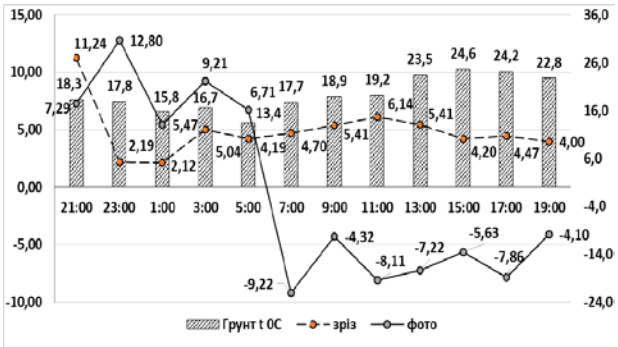
Загалом у нічні години приблизно з 20.00 до 05.30 на всіх ґрунтах спостерігається помітне перевищення величини MCO_2 над значеннями ECO_2. В означений час до величин інтенсивності емісії CO_2 із ґрунтової поверхні унаслідок його продукування ґрунтом додавався обсяг діоксиду вуглецю, який виділяє рослина під час власного дихання.



А. т. 8., 14,7 %, 06.08-07.08. 2016



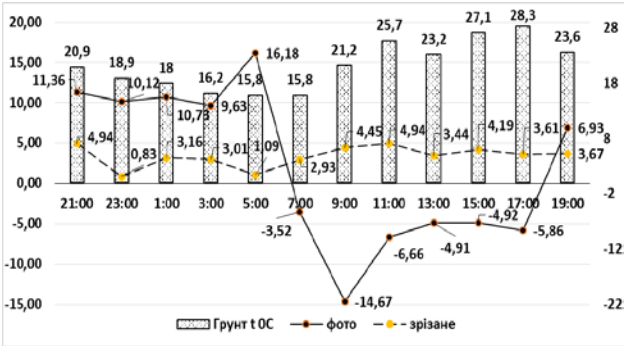
А. т. 8., 11,4%, 06.08-07.08. 2017



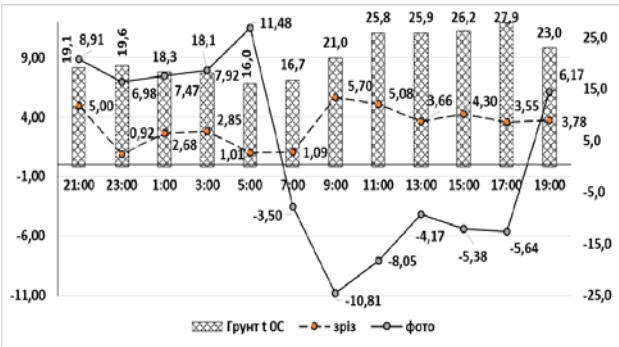
А. т. 8., 18,1 %, 06.08-07.08. 2018

Рис. 1. Добова динаміка потоків емісії діоксиду вуглецю й асиміляції CO2 в системі «ґрунт – атмосфера – рослина» агроландшафтів Полісся України, кг/га/год

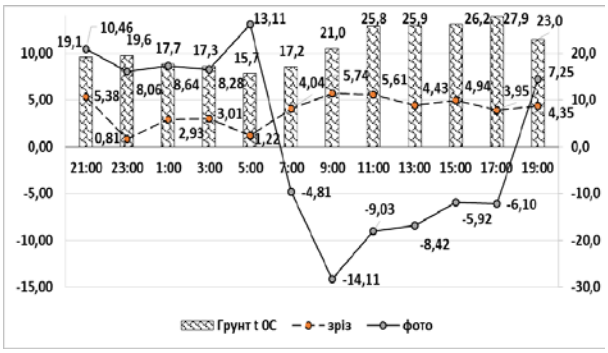
Примітка: ECO2 – емісія CO2 вільним від рослинності ґрунтом; MCO2 – зміна маси CO2 в камері внаслідок виділення та поглинання ґрунтом і рослиною. А. ясно-сірий опідзолений супіщаний, 2016–2018 рр.



Б. т. 11., 9,7 %, 07.08-08.08. 2016



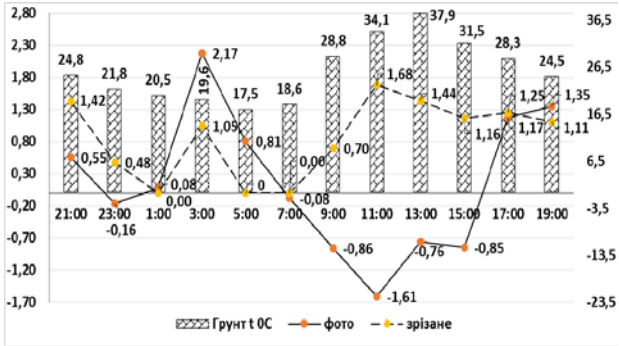
Б. т. 11., 11,4 %, 07.08-08.08. 2017



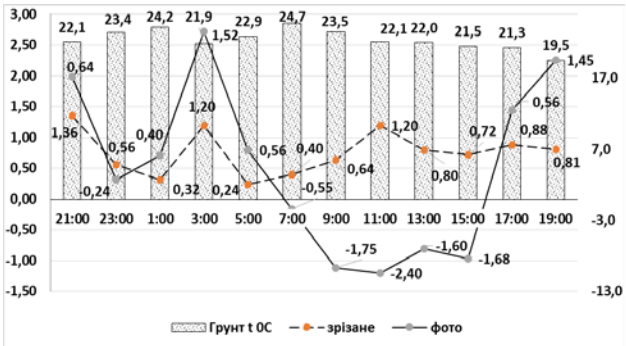
Б. т. 11., 13,1 %, 07.08-08.08. 2018

Рис. 1. Добова динаміка потоків емісії діоксиду вуглецю й асиміляції CO2 в системі «ґрунт – атмосфера – рослина» агроландшафтів Полісся України, кг/га/год

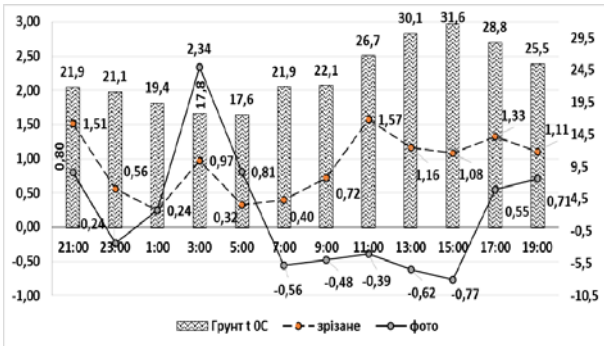
Примітка: ЕСО2 – емісія СО2 вільним від рослинності ґрунтом; МСО2 – зміна маси СО2 в камері внаслідок виділення та поглинання ґрунтом і рослиною. Б. лучний глейовий крупнопилувато-легкосуглинковий, 2016–2018 рр.



В. т. 10., 4,7 %, 06.08-07.08. 2016



В. т. 10., 6,1%, 06.08-07.08. 2017



В. т. 10., 3,9 %, 06.08-07.08. 2018

Рис. 1. Добова динаміка потоків емісії діоксиду вуглецю й асиміляції CO2 в системі «ґрунт – атмосфера – рослина» агроландшафтів Полісся України, кг/га/год

Примітка: ЕСО2 – емісія СО2 вільним від рослинності ґрунтом; МСО2 – зміна маси СО2 в камері внаслідок виділення та поглинання ґрунтом і рослиною. В. торфово-болотний добре розкладений, 2016–2018 рр.; 12,7% – об’ємна вологість ґрунту

У цей час позитивні значення $МСО_2$ для більшості ґрунтів збігаються із низькою емісійною активністю «чистого» ґрунту (без рослин). Додатні значення $МСО_2$ вказують на припинення фотосинтезу у рослин і відсутність стоку $СО_2$ (див. рис. 1).

Натомість величини негативних значень $МСО_2$ досліджуваних ґрунтів, що функціонують у складі агроландшафту й набувають від'ємних значень зміни маси $СО_2$ в камері, за своєю сутністю характеризують їх здатність до очищення (декарбонізації) атмосфери. Оцінка емісійно-асиміляційної здатності ґрунтів у межах вегетаційного періоду повинна враховувати їх належність до типу агроландшафту та виконуватися в комплексі з наявною на їх поверхні рослинністю. Загалом результати такої оцінки значною мірою залежать від ступеня перевищення величини фотосинтетичного стоку $СО_2$ обсягів емісії діоксиду вуглецю з ґрунту. Тривалість часового інтервалу доби, коли показник $МСО_2$ перебуває в зоні «очищення» для кожного ґрунту, опосередковано визначають його здатність виступати у ролі важеля щодо регулювання концентрації $СО_2$ атмосфери.

Встановлено, що в період завершення активної вегетації рослин у добовому вуглецевому циклі торфово-болотного добре розкладеного та ясно-сірого опідзоленого супіщаного автотрофного ґрунтах заплави р. Десна обсяги $СО_2$ фотосинтетичного стоку $СО_2$ перевищують його емісію. Добова емісія двоокису вуглецю з лучного глейового крупнопилувато-легкосуглинкового ґрунту ($ЕСО_2$) незначно перевищує обсяги $МСО_2$, що зумовлено його значно нижчим емісійно-асиміляційним потенціалом, порівняно торфово-болотним і ясно-сірим опідзоленим ґрунтами.

Характер зумовленості величин емісії $ЕСО_2$ та $МСО_2$ на досліджуваних ґрунтах у вигляді коефіцієнтів кореляції представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляційної залежності величин емісії $ЕСО_2$ та $МСО_2$ від температури ґрунту та концентрації $СО_2$, rmin = 0,58

Номер точки	Емісія			Асиміляція		
	роки спостережень					
	2016	2017	2018	2016	2017	2018
т. 11*	$\frac{0,58^*}{-0,64}$	$\frac{0,57}{-0,69}$	$\frac{0,52}{0,56}$	$\frac{-0,57}{0,92}$	$\frac{-0,65}{0,83}$	$\frac{-0,65}{-0,88}$
т. 10	$\frac{0,77}{-0,68}$	$\frac{-0,58}{-0,37}$	$\frac{0,61}{-0,69}$	$\frac{-0,62}{0,46}$	$\frac{-0,25}{0,52}$	$\frac{-0,55}{0,51}$
т. 8	$\frac{0,17}{-0,83}$	$\frac{0,89}{0,58}$	$\frac{0,05}{-0,18}$	$\frac{-0,33}{-0,68}$	$\frac{0,56}{0,77}$	$\frac{-0,65}{0,77}$

Примітка: *назви ґрунтів відповідно до їх номерів у табл. 1

$\frac{0,58^*}{-0,64}$ – величини коефіцієнтів кореляції: в чисельнику – з температурою ґрунту на глибині 3 см; у знаменнику – з концентрацією $СО_2$ на висоті 0,40 м.

Інтенсивність емісії двоокису вуглецю ґрунтами відчутно залежить від їх температури та вологості ґрунтів, яка протягом доби не змінює свої значення.

Коефіцієнти кореляції з обсягів емісії CO_2 ясно-сірого опідзоленого супіщаного, лучного глейового крупнопилувато-легкосуглинкового та торфово-болотного добре розкладеного ґрунтів з температурою за роками (r) набувають переважно позитивних значень, що свідчить про відсутність пригнічення процесів продукування CO_2 ґрунтами у добовому вуглецевому циклі. Виняток становить лише лучний глейовий крупнопилувато-легкосуглинковий ґрунт (2017 р.), на якому склався несприятливий температурний режим.

У 2016 р. на лучному глейовому крупнопилувато-легкосуглинковому ґрунті зафіксовано пригніченн япроцесу емісії діоксиду вуглецю, спричинене несприятливими температурними умовами, які склалися у верхній частині профілю у денну частину доби, та нестачею ґрунтової вологи на момент проведення досліджень. Виявлена закономірність віддзеркалює низький рівень родючості (з незначною кореневою масоюй слабким кореневим диханням) і підвищену температурну чутливість, зумовлену ознаками глейовості. Таким чином, зазначені особливості призвели до зниження його емісійної активності [10].

Натомість кореляційні коефіцієнти між величинами асиміляції двоокису вуглецю рослинністю в системі «ґрунт – атмосфера – рослина» та значеннями температури ґрунту завжди негативні, що зумовлено повним припиненням фотосинтетичного стоку вуглецю у нічний період на фоні відносно незначного зниження температури ґрунту і повітря.

На відміну від емісії, значимі коефіцієнти кореляції між величиною зміни маси діоксиду вуглецю в камері внаслідок виділення і поглинання ґрунтом і рослиною (MCO_2) та концентрацією CO_2 набувають як негативних, так і позитивних значень (див. табл. 2).

Відсутність чіткої закономірності зумовлене тим, що темпи продукування ґрунтом CO_2 за роками як вдень, так і вночі не узгоджуються зі зміною його концентрації в атмосфері. Концентрація двоокису вуглецю у приземному шарі повітря є більш динамічною у часі величиною, ніж його продукування ґрунтом і часто залежить від агрометеорологічних умов, які склалися на момент спостережень (періодичність та інтенсивність переміщення повітряних мас, зміна атмосферного тиску та інші чинники).

Водночас інтенсивність асиміляції CO_2 у денні години з підвищенням концентрації лише підсилюється. Останнє свідчить про значно вищий потенціал наземної рослинності щодо зв'язування діоксиду вуглецю порівняно з ґрунтами, що також закономірно.

Обсяги добової сумарної асиміляції CO_2 рослинами вказують на значне переважання величин GPP болотяної рослинності та люцерни (табл. 3).

Як свідчать наведені дані, диференціація ґрунтового покриву Полісся України за здатністю до декарбонізації атмосфери шляхом зв'язування CO_2 є істотною. Її ступінь значною мірою залежить від типу ґрунту, виду угіддя у складі агроценозу та характеру рослинності.

Так, лучний глейовий крупнопилувато-легкосуглинковий на сучасному алювії з низьким рівнем ґрунтової родючості у складі кормових угідь і наявною на ньому лучної рослинністю має закономірно низьку величину добового GPP. Сам ґрунт у період досліджень лишає низький емісійно-вуглецевий слід у вигляді переміщення обсягів CO_2 до атмосфери. Тоді як торфово-болотний добре розкладений ґрунт на сучасному алювії з наявною болотяною рослинністю відіграє більш відчутну екологічну роль, яка підтверджується добовим GPP та емісією двоокису вуглецю з ґрунтової поверхні (див. рис. 1 та табл. 3). Ясно-сірий опідзолений супі-

щаний на лесовидних суглинках у складі ріллі під люцерною за емісійно-асиміляційним потенціалом наближається до торфово-болотного добре розкладеного ґрунту під болотяною рослинністю.

Таблиця 3

Величина GPP наявної на ґрунтах рослинності у складі агроценозу залежно від належності до угіддя, кг / га / добу

Номер точки	Назва ґрунту, виду угіддя у складі агроценозу та характер рослинності	Роки спостережень			Середнє
		2016	2017	2018	
т. 11*	ясно-сірий опідзолений супіщаний на лесовидних суглинках, рілля, люцерна II–IV років використання	64,1	60,9	77,1	67,4
т. 10	лучний глейовий крупнопилувато-легкосуглинковий на сучасному алювії, сіножать, лучна рослинність	9,2	12,1	8,5	9,9
т. 8	торфово-болотний добрерозкладений ґрунт на сучасному алювії, болото, болотяна рослинність	54,9	70,9	80,8	68,9

Висновки і пропозиції. Зважаючи на результати досліджень, у разі надання емісійно-асиміляційного оціночного статусу ґрунту у комплексі з рослиною неоднорідність ґрунтового покриву набуває значно вищої просторової диференціації. Значення GPP на момент спостережень характеризує потенціал здатності агроценозу щодо зниження концентрації CO_2 в атмосфері. Вуглецева емісійно-асиміляційна здатність ґрунту, на якому функціонують рослинні ценози, виступають як визначальна екологічно формуюча ланка біосфери. Іншими словами, значення GPP рослинного ценозу, окрім біологічних, фізіологічних, екологічних чинників, безпосередньо залежить від комплексу ґрунтово-кліматичних умов функціонування, способів його використання, характеру та інтенсивності антропогенного впливу.

Встановлено, що в період завершення активного формування вегетаційного маси рослин домінуюча роль у формуванні емісійно-асиміляційного режиму агроґрунтових ландшафтів у системі «ґрунт – атмосфера – рослина» належить температурі ґрунту й концентрації CO_2. Залежно від прояву комплексу зовнішніх абіотичних і метеорологічних чинників абсолютні значення коефіцієнтів кореляції набували як позитивних, так і негативних значень. Залежно від прояву сумісного впливу зовнішніх чинників атмосфери абсолютні значення коефіцієнтів кореляції набували як позитивних, так і негативних значень: із температурою ґрунту ($-0,65 > r > 0,89$), з концентрацією CO_2 в надґрунтовому шарі повітря відповідно ($-0,88 > r > 0,92$).

Визначені в ході досліджень добові значення GPP дозволили оцінити асиміляційну здатність наявної на земній поверхні рослинності у складі агроландшафтів. З урахуванням належності до певного угіддя, ґрунту та поширеної рослинності ґрунти оцінено за зниженням ролі у регулюванні вуглецевого режиму атмосфери: торфово-болотний добре розкладений ґрунт на сучасному алювії, болото, болотяна рослинність > ясно-сірий опідзолений супіщаний на лесовидних суглинках, рілля, люцерна II–IV років використання > лучний глейовий крупнопилувато-легкосуглинковий на сучасному алювії, сіножать, лучна рослинність.

У період завершення активної вегетації рослин у добовому біологічному колообігу вуглецю на торфово-болотному добре розкладеному та ясно-сірому опідзоленому супіщаному автотрофному ґрунтах заплави р. Десна обсяги діоксиду вуглецю у вигляді фотосинтетичного стоку CO_2 перевищують його емісію. Добова емісія двоокису вуглецю з лучного глейового крупнопилувато-легкосуглинкового ґрунту (ECO_2) незначно перевищує обсяги (MCO_2), що зумовлено його значно нижчим асиміляційним потенціалом.

Дослідження емісійно-оціночного статусу ґрунтів разом з асиміляційною здатністю окремих сільськогосподарських культур допоможе визначити оптимальні шляхи використання ґрунтово-земельних ресурсів і дозволить мінімізувати непродуктивні втрати органічного вуглецю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Балюк С., Барахтян В., Лазебна М., Лісовий М., Полупан М., Соловей В., Фатєєв А., Хрістенко А. Якість ґрунту показники родючості ґрунтів. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 20 с.

2. Зейдель А.Н. Погрешности измеряемой физической величины. Ленинград : «Наука», 1985. 112 с.

3. Кудеяров В.Н. Пулы и потоки углерода в наземних экосистемах. Москва : России, 2007. 315 с.

4. Биологическая продуктивность систематически удобряемого сенокосного луга на аллювиальной луговой почве / Н.С. Паников, Г.А. Соловьев, В.Д. Афремова. *Вестник Моск. ун-та. Сер. Почвоведение*. 1989. № 1. С. 58–66.

5. Смагин А.В. Газовая функция почв. *Почвоведение*. 2000. № 10. С. 1211–1223.

6. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Мазанова В.С., Должич А.Р. Поглощение моноксида углерода образцами почв и торфо-песчаных смесей. *Почвоведение*. 2009. № 11. С. 1325–1332.

7. Трофименко П.И., Борисов Ф.И., Трофименко Н.В. Интенсивность дыхания почв левобережного Полесья Украины в условиях агроценоза. *Почвоведение и агрохимия*. 2015. № 2 (55). С. 56–65.

8. Трофименко П.І., Борисов Ф.І., Трофименко Н.В., Зацерковний В.І. Спосіб визначення балансу маси газу в системі «ґрунт – атмосфера – рослина»: пат. на корисну модель 117911 Україна, МПК G01N 33/24 (2006.01) – № u 2018 02361; заявл. 07.03.2018; опубл. 10.07.2018 // Бюл. № 13.

9. Трофименко П.І., Сябрук О.П., Борисов Ф.І., Мірошниченко М.М., Цапко Ю.Л., Трофименко Н.В. Спосіб визначення інтенсивності емісії газів з ґрунту (на прикладі CO2) : науково-методичне видання / НААН України, МОН України, ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». Київський національний університет імені Тараса Шевченко, 2019. 29 с.

10. Трофименко П.І., Трофименко Н.В. Інтенсивність емісії CO2 з ґрунтів Полісся під час вегетації культур та домінантність зумовлюючих її чинників. *Меліорація і водне господарство*. № 1 (107). 2018. С. 47–54.

11. Tillage and soil carbons eguestration – what do we really know? / J.M. Baker, T.E. Oshsner, R.T. Venterea, J.T. Griffis. *Agriculture, Ecosystems and Environmen*t. 2007. Vol. 118. P. 1–5.

12. Bouwman A.F., Germon J.C. Spatial Issue – Soil and climate change. *Introduction, Biology and Fertility Soils.* 1998: 27. 219 p.

13. IPCC, 2007a. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and NewYork, NY, USA.

14. IPCC, 2007b. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

15. IPCC, 2007c. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.

16. Jelle Bijma, Hans-O. Portner, Chris Yesson, Alex D. Rogers Climate change and the oceans – What does the future hold? *Marine Pollution Bulletin*. 74 (2013). 495–505.

17. Freiziene, D., Kadziene G. The influence of soil organic carbon, moisture and temperature on soil surface CO2 emissioninthe10thyearofdifferent tillage-fertilization management. *Zemdirbyste-Agriculture*. Vol. 95. № 4 (2008). P. 29–45.

18. Sectoral decarbonization approach (SDA): A method for setting corporate emission reduction targets in line with climate science. World resource institute, 2015. 104 p.

19. Trofymenko P.I, Trofimenko N.V., Zatserkovnyi V.I., Borysov F.I. Monitoring of emission volumes ↔ CO2 assimilation in “soil-atmosphere-plant” system. XII International Scientific Conference “Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment” 13–16 November 2018, Kyiv, Ukraine.