

11. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility / L. Van Zwieten, S. Kimber, S. Morris, K.Y. Chan and other. *Plant Soil*. 2010. № 327 (1–2). P. 235–246.

12. Ajayi A.E., Horn R. Modification of chemical and hydrophysical properties of two texturally differentiated soils due to varying magnitudes of added biochar. *Soil and Tillage Research*. 2016. № 164. P. 34–44.

13. Impact of biochar and hydrocar addition on water retention and water repellency of sandy soil / S. Abel, A. Peters, S. Trinks, H. Schonsky and other. *Geoderma*. 2013. № 2002–2003. P. 183–191.

14. Jien S.H., Wang C.S. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*. 2013. № 110. P. 225–233.

15. Влияние биоугля на свойства образцов дерново-подзолистой супесчаной почвы с разной степенью окультуренности (лабораторный эксперимент) / Е.Я. Рижия, Н.П. Бучкина, И.М. Мухина, А.С. Белинец и др. *Почвоведение*. 2015. № 2. P. 211–220.

16. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и ґрунтов. Москва: Государственное издательство «Высшая школа», 1961. 344 с.

УДК 631.433.3

ГАЗОВИЙ СКЛАД НАДҐРУНТОВОГО ШАРУ ПОВІТРЯ АТМОСФЕРИ ТА ЙОГО РОЛЬ У ФОРМУВАННІ ОБСЯГІВ ЕМІСІЇ ГАЗІВ З ҐРУНТУ

Трофименко П.І. – к. с.-г. н., доцент,

Навчально-науковий інститут «Інститут геології»

Київського національного університету імені Тараса Шевченка

У статті досліджено газовий склад приземного надґрунтового шару повітря атмосфери та висвітлено його роль у діагностиці стану й емісійної активності ґрунтів. Подано сучасну інтерпретацію формування складу атмосферного повітря в надґрунтовому шарі в умовах агроландшафту. Висвітлено результати досліджень взаємозв'язку між концентрацією CO₂ на висоті 0,35–0,50 м та інтенсивністю його емісії з дерново-підзолистих та опідзолених супіщаних ґрунтів протягом холодного й теплого періодів року. На прикладі діоксиду вуглецю показано взаємозв'язок між його концентрацією в надґрунтовому шарі повітря та інтенсивністю емісії CO₂ з ґрунтів Полісся України протягом вегетаційного періоду сільськогосподарських культур.

Ключові слова: *газовий склад, надґрунтовий шар повітря, концентрація, інтенсивність емісії газів, холодний і теплий періоди, ґрунти Полісся України.*

Трофименко П.И. *Газовый состав надпочвенного слоя воздуха атмосферы и его роль в формировании объемов эмиссии газов из почвы*

В статье исследован газовый состав приземного надпочвенного слоя воздуха атмосферы и освещена его роль в диагностике состояния и эмиссионной активности почв. Представлена современная интерпретация формирования состава атмосферного воздуха в надпочвенном слое в условиях агроландшафта. Представлены результаты исследования взаимосвязи между концентрацией CO₂ на высоте 0,35–0,50 м и интенсивностью его эмиссии в дерново-подзолистых и оподзоленных супесчаных почвах в течение холодного и теплого периодов года. На примере диоксида углерода показана взаимосвязь между его концентрацией в надпочвенном слое воздуха и интенсивностью эмиссии CO₂ из почв Полесья Украины в течение вегетационного периода сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: *газовый состав, надпочвенный слой воздуха, концентрация, интенсивность эмиссии газов, холодный и теплый периоды, почвы Полесья Украины.*

Trofyenko P.I. Gas composition of the above-soil layer of atmospheric air and its role in the formation of gas emissions from the soil

Gas composition of the surface above-ground layer of atmospheric air is studied in the article and its role in the diagnostics of the state and emission activity of soils is highlighted. The paper presents a modern interpretation of the composition of atmospheric air in the above-soil layer under the conditions of the agrolandscape. The results of studies of the relationship between the concentration of CO₂ at an altitude of 0.35–0.50 m and the intensity of its emission from sod podzolic and podzolized sandy loamy soils during the cold and warm periods of the year are presented. Using carbon dioxide as an example, the relationship between its concentration in the air layer above the soil and the intensity of CO₂ emission from the soil in Ukrainian Polissia during the vegetative period of agricultural crops is shown.

Key words: gas composition, above-soil layer of air, concentration, gas emission intensity, cold and warm periods, soils of Polissia of Ukraine.

Постановка проблеми. Як відомо, атмосферне повітря має вагоме значення в регулюванні повітряного режиму ґрунтів. Провідна роль у перебігу газообміну між ґрунтом та атмосферою, безумовно, належить CO₂ та O₂ як головним біогенним газам, що беруть участь у біологічному колообігу органічної речовини в біосфері [2; 9]. Не менш важливими з погляду впливу на характер функціонування ґрунтів газовими сполуками справедливо вважають й інші гази, передусім N₂O, CH₄, CO. Загальновідомо, що зазначені гази по мірі накопичення в атмосфері спричиняють парниковий ефект, а NH₃, H₂S, Cl₂ виконують важливі біосферні функції. Однак, незважаючи на вищевикладене, роль приземного (надґрунтового) шару повітря в регулюванні повітряного режиму ґрунтів часто є недооціненою.

Величини концентрації газів у надґрунтовому шарі повітря, окрім глобальних закономірностей їх формування, залежать від локальних умов використання ґрунтів у межах агроландшафтів та особливостей їх функціонування під час вирощування продукції рослинництва. Саме тому вивчення особливостей формування газового складу в приземному шарі повітря й дослідження закономірностей впливу на повітряний режим ґрунтів являє собою важливу наукову проблему.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Склад атмосферного повітря в приземному шарі змінюється з висотою й значною мірою залежить від декількох чинників: періоду року, типу ґрунтів і рослинності, рівня зволоженості ґрунту, часу доби, умов рельєфу, складу ґрунтової мікробіоти, швидкості переміщення повітряних мас над земною поверхнею, парціального тиску газів [3–6; 10] тощо.

Взаємозв'язок між концентрацією біогенних газів у надґрунтовому шарі повітря й у верхньому шарі ґрунту зумовлений градієнтом концентрації ∇C , який виникає між концентраціями відповідного газу в ґрунтовому та атмосферному повітрі.

При цьому варто розуміти, що швидкість зміни концентрації біогенних газів у приземному шарі повітря є набагато більш істотною порівняно з вищими шарами [1]. Це зумовлено не лише регулярними емісійними надходженнями біогенних газів до атмосфери, а й закономірностями поширення газів в атмосфері. Незважаючи на виключну динамічність газового складу приземного (надґрунтового) шару, закономірності його формування підпорядковані загальновідомим фізичним законам. Насамперед ідеться про перший закон Фіка та особливості дисипації газів з верхнього найбільш аерованого шару ґрунту до пограничного з ним шару повітря.

Постановка завдання. З огляду на вищевикладене, сутність досліджень полягає у визначенні складу атмосферного повітря в надґрунтовому атмосферному шарі повітря в період вегетації рослин і його ролі у функціонуванні ґрунтів; установленні характеру взаємного впливу між концентрацією CO₂ в надґрунтовому

шарі повітря та інтенсивністю емісії діоксиду вуглецю з ґрунту E_{CO_2} в холодний і теплий періоди року.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проведені на території Житомирського та Чернігівського Полісся України в період з 2014 по 2018 роки на дерново-підзолистих, опідзолених та органогенних ґрунтах різного гранулометричного складу і ступеня гідроморфності.

Визначення концентрації газів у приземному шарі повітря здійснено протягом теплового (01,05–30,10) і холодного (01,11–30,04) періодів року на різних сільськогосподарських культурах. Вимірювання проводили в денний час, переважно (з 9⁰⁰ до 16⁰⁰) на висоті 0,35–0,5 м. Концентрацію газів у приземному шарі повітря визначали з допомогою сигналізатора – аналізатора газів «Дозор С-М» і газоаналізатора з інфрачервоним сенсором Testo 535 протягом 5 або 10 хвилин, залежно від інтенсивності продукування газів ґрунтом.

Під час дослідження використано ізоляційні камери з такими параметрами: $d = 0,13\text{м}$, $h = 0,35\text{м}$, $V = 0,0185731\text{м}^3$; $d = 0,24\text{м}$, $h = 0,40\text{м}$, $V = 0,020349\text{м}^3$; $d = 0,14\text{м}$, $h = 0,50\text{м}$, $V = 0,030772\text{м}^3$. Для визначення емісії газів з ґрунтів наявну на них рослинність попередньо зрізали.

Визначення величини вологості ґрунту (у % об'ємної вологи) проводили методом частотної рефлектометрії з використанням вологоміра MST 3000+ з сенсором SMT 100, забезпечуючи 6–8-кратну повторність вимірювань.

У відібраних ґрунтових зразках у лабораторних умовах визначали вуглець органічної речовини ДСТУ 4289, гранулометричний склад за Качинським ДСТУ 4730:2007, суму увібраних основ за МВВ 31-497058-007 ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», нітратний та амонійний азот ДСТУ 4729, рухомий фосфор та обмінний калій ДСТУ 4115-2002, гідролітичну кислотність ГОСТ 26212, рН водний ГОСТ 26423-85, рН сольовий ГОСТ 26483-85.

Інтенсивність виділення діоксиду вуглецю як одного з головних біогенних елементів колообігу речовин у біосфері E_{CO_2} проводили за раніше оприлюдненою методикою [7; 8].

Визначення концентрації газів у приземному шарі повітря в період вегетації рослин проводили у 2015–2018 роках на дерново-середньо підзолистому глеюватому легкосуглинковому ґрунті на водно-льодовикових відкладах під багаторічними

Таблиця 1

Основні характеристики досліджуваних ґрунтів, шар 0–30 см

Сорг., %	$\Sigma < 0,01, \%$	Сума увібраних основ, ммоль/100 г	Назва та показники властивостей ґрунтів					рН _{НСІ}	
			NO ₃ ⁻ , мг/кг	NH ₄ ⁺ , мг/кг	P O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	Нг, ммоль/100 г		рН _{Н20}
1,96	28,35	14,94	8,23	10,14	275,4	123,5	2,02	6,35	5,68
9,08	23,27	-	5,38	103,19	64,12	75,31	2,31	7,92	7,16
Дерново-підзолистий глеюватий легкосуглинковий ґрунт									
Торфуваго-болотний ґрунт									

злаково-бобовими травосумішками й торфувато-болотному карбонатному осушеному ґрунті на водно-льодовикових відкладах під болотною рослинністю.

Основні характеристики досліджуваних ґрунтів представлені в таблиці 1.

Нині сучасна інтерпретація формування складу атмосферного повітря в приземному (надґрунтовому) шарі в умовах агроландшафту має такий вигляд (рис. 1).

Серед основних факторів, що визначають характер газообміну між ґрунтом і приземним шаром повітря, виділяють дифузію газів, фізико-хімічні властивостей ґрунтів і комплекс метеорологічних умов, що визначають рух повітряних мас. Концентрація газових сполук є динамічною в часі й варіює відповідно до річних, сезонних і добових трендів, а також антропогенних впливів.

Результати досліджень концентрації основних біогенних газів у денний час свідчать про неоднаковий рівень їх умісту в приземному шарі повітря (таблиця 2).

Результати спостережень дають змогу констатувати, що концентрація CH_4 та H_2S у період вимірювань над торфувато-болотним ґрунтом помітно перевищує відповідні значення над дерново-підзолистим глеуватим легкосуглинковим ґрунтом. Зазначена закономірність зумовлена вищою вологістю торфувато-болотного ґрунту у верхньому шарі (0–10 см), яка лише збільшується з глибиною (таблиця 3). Останнє створює анаеробні умови ґрунтоутворення, про що свідчать ознаки

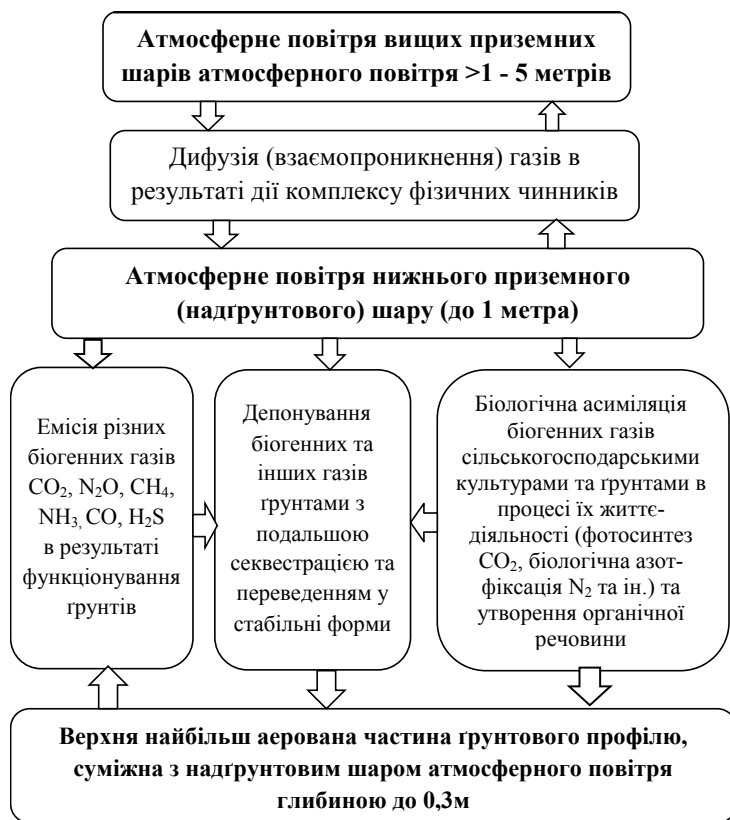


Рис. 1. Модель сучасної інтерпретації формування складу атмосферного повітря в надґрунтовому шарі в умовах агроландшафту

оглеєння з глибини 30 см. Очевидно, що в цьому за умов надмірного періодичного зволоження ґрунтового профілю та нестачі кисню відбувається розмноження специфічної мікробіоти, як наслідок, підсилене виділення H_2S , Cl_2 .

Це створює умови для розмноження й розвитку специфічної мікробіоти, яка в процесі життєдіяльності підсилена виділенням метану та сірководню. Підвищення концентрації газів у приземному шарі повітря в результаті їх виділення з ґрунту безпосередньо впливає на інтенсивність їх подальшої дисипації в атмосфері й спричиняє ефект уповільнення подальшого виділення.

Результати досліджень дають змогу констатувати, що концентрація діоксиду вуглецю в приземному шарі повітря досить помітно перевищує середню глобальну концентрацію цього газу в атмосфері. Так, згідно з даними гавайської обсерваторії Мауна-Лоа (2018), середньомісячна концентрація CO_2 у квітні 2018 року перевищила 410 частин на мільйон (ppm), досягнувши значення 410,26 ppm (mg/m^3), тоді як отримані нами результати свідчать, що концентрація CO_2 в надґрунтовому шарі повітря становить у холодний період 537,70 ppm, у теплий, відповідно, 461,45 ppm (рис. 2).

Перевищення середньої глобальної концентрації становить для холодного періоду 30,8%, для теплого, відповідно, 12,5%. Вища концентрація діоксиду вуглецю в приземному шарі повітря в холодному періоді порівняно з теплим поя-

Таблиця 2

Концентрація основних біогенних газових сполук у приземному шарі повітря над досліджуваними ґрунтами, C_1 висота 0,5 м, 05.07–09.07.2018

№ з/п	Назви ґрунтів, їх формули та концентрація газів, ppm (mg/m^3)					
	CO_2	CH_4	N_2O	NH_3	H_2S	Cl_2
Дерново-підзолистий глеюватий легкосуглинковий ґрунт						
1	453	1,9	0,6	1,5	2,0	0,19
Торфувато-болотний ґрунт						
1	476	2,3	0,9	1,7	3,9	0,20

Таблиця 3

Показники температури та вологості досліджуваних ґрунтів у період спостережень, 05.07–09.07.2018, P_1 734–737, мм рт. ст.

№ з/п	Шар ґрунту, см	Назви ґрунтів, показники	
		вологість, %	температура на поверхні шару, 0–2 см, $t C^0$
Дерново-підзолистий глеюватий легкосуглинковий ґрунт			
1	0–10	14,5	28,5
2	11–20	23,8	19,9
3	21–30	23,6	17,9
4	31–40	19,4	16,8
Торфувато-болотний ґрунт			
5	0–10	28,7	28,0
6	11–20	32,3	17,8
7	21–30	34,6	17,0
8	31–40	34,2	16,3

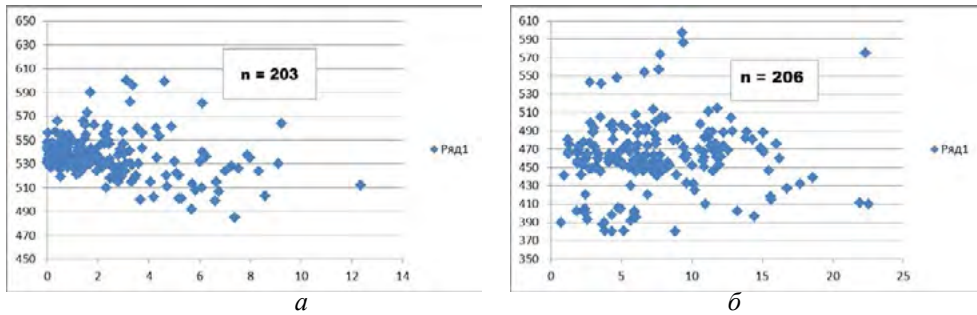


Рис. 2. Зв'язок між інтенсивністю емісії діоксиду вуглецю з дерново-підзолистих та опідзолених супіщаних ґрунтах у приземному шарі повітря (E_{CO_2}) і його концентрацією (C) на висоті 0,35–0,50 м; періоди: а – холодний, б – теплий

нуються процесами його асиміляції вегетуючою рослинністю під час фотосинтезу, більш активним депонуванням ґрунтами та переміщенням повітряних мас у весняно-літній і літньо-осінній періоди. Усі перелічені вище чинники в сукупній своїй дії сприяють помітному зниженню концентрації CO_2 у складі приземного шару атмосфери. При цьому на фоні вищих значень інтенсивності емісії в межах теплого періоду (від 0,7 до 22,5 кг з 1 га за год.), порівняно з емісією холодного періоду (від 0 до 12,3 кг з 1 га за год.), варто констатувати більш широкий діапазон

Таблиця 4

Розташування моніторингових точок у розрізі ґрунтів, сільськогосподарських культур і наявної рослинності

№ з/п	Назва ґрунту, сільськогосподарська культура	Кількість точок і їх номери
1	Дерново-середньопідзолистий глеюватий супіщаний ґрунт на водно-льодовикових відкладах, жито озиме	2 – т. 5, т. 6
2	Дерново-середньо підзолистий глеюватий легкосуглинковий ґрунт на водно-льодовикових відкладах, багаторічні злаково-бобові травосумішки	1 – т. 7
3	Ясно-сірий опідзолений глеюватий супіщаний ґрунт на лесовидних відкладах, підстелених з глибини 1,0–1,5 м водно-льодовиковими відкладами, пшениця озима	3 – т. 8, т. 9, т. 10
4	Ясно-сірий опідзолений глеюватий супіщаний ґрунт на лесовидних відкладах, підстелених з глибини 1,0–1,5 м водно-льодовиковими відкладами, овес ярий	3 – т. 11, т. 12, т. 13
5	Сірий опідзолений глеюватий легкосуглинковий ґрунт на лесовидних відкладах, підстелених водно-льодовиковими відкладами, овес ярий	2 – т. 14, т. 15
6	Темно-сірий опідзолений глейовий легкосуглинковий ґрунт на лесовидних суглинках, підстелених з глибини 1,0–1,5 м водно-льодовиковими відкладами, гречка	3 – т. 1, т. 4
7	Черноземно-лучні карбонатні, пилувато-легкосуглинкові ґрунти на лесовидних суглинках, гречка	1 – т. 2
8	Торфувато-болотні карбонатні осушені ґрунти на водно-льодовикових відкладах, болотна рослинність	1 – т. 3

концентрацій у теплому часовому інтервалі року (380–597 ppm) порівняно з більш вузьким (485–599 ppm) – у холодному. Зазначена різниця діапазонів концентрацій CO_2 у найнижчому шарі повітря незначно перевищує 100 ppm (mg/m^3). У цьому випадку виявлена закономірність має сезонний характер і є властивою для ґрунтово-кліматичних умов агроландшафтів Полісся України.

Як вище зазначено, дослідження характеру взаємозв'язку між інтенсивністю емісії CO_2 з ґрунтів перехідної зони Полісся України та значеннями його концентрації в приземному (надґрунтовому) шарі повітря проводили на ґрунтах різного гранулометричного складу і ступеня гідроморфності, які характерні для перехідної зони Полісся України й поширені на території дослідного поля Житомирського національного агроекологічного університету. Спостереження здійснювалися на вирівнювальних посівах різних сільськогосподарських культур по сімох ґрунтових відмінах і 15 моніторингових точках з 03.05 по 22.07.2018 (таблиця 4).

Отримані результати свідчать про неоднозначну роль величини концентрації CO_2 в надґрунтовому шарі повітря під час вегетації культур (рис. 3).

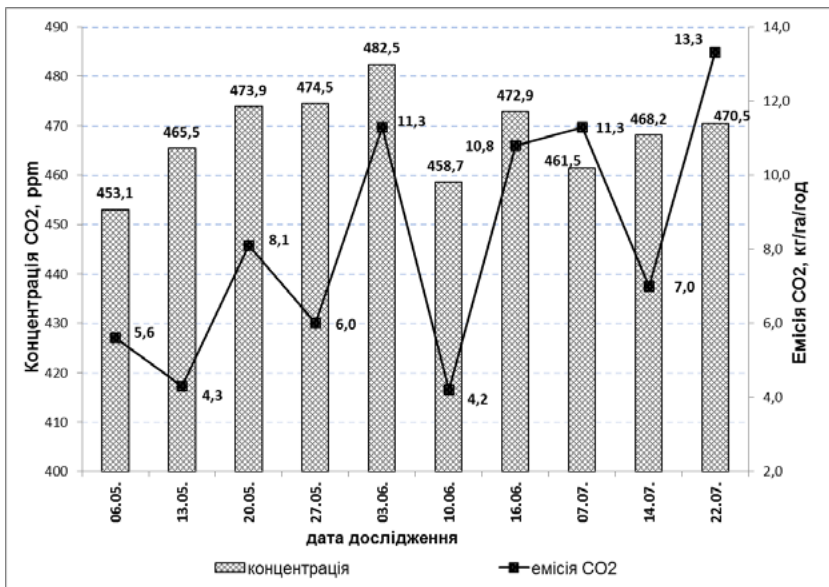


Рис. 3. Характер взаємозв'язку між концентрацією діоксиду вуглецю на висоті 0,50 м (C_p) у надґрунтовому шарі повітря та його емісією (E_{CO_2}) з основних ґрунтів перехідної зони Полісся України ($n = 15$)

Ідеться про необхідність розглядати значущість величини концентрації CO_2 для формування обсягів емісії діоксиду вуглецю під час вегетації рослин у двох взаємозумовлених аспектах: більшою мірою в біологічному, меншою – в контексті прояву загальновідомих законів фізики.

У результаті досліджень встановлено, що величина парного коефіцієнта кореляції r між величинами інтенсивності емісії діоксиду вуглецю з основних ґрунтів у приземному шарі повітря (E_{CO_2}) та його концентрацією в приземному надґрунтовому шарі повітря (C_p) протягом вегетації рослин варіює в широкому діапазоні: $-0,54 < r < 0,64$ ($r_{\text{min}} = 0,54$).

У період активного накопичення більшістю сільськогосподарських культур вегетативної маси, розвитку їх кореневої системи та закономірного підвищення концентрації CO_2 (06,05–03,06), спостерігалось поступове підвищення обсягів емісії з ґрунтів діоксиду вуглецю, яке мало характер осциляцій. Це свідчить про періодичний прояв впливу й інших чинників, які безпосередньо визначають інтенсивність емісії CO_2 – температури та вологості ґрунту. Так під час досліджень встановлено, що мінімальні обсяги продукування діоксиду вуглецю ґрунтами зумовлені гострим дефіцитом ґрунтової вологи в окремі періоди спостережень: 13,05–5,5%, 27,05–5,9%, 10,06–3,8% (див. рисунок 3).

Загалом у період з 10.06 по 27.07 концентрація CO_2 порівняно з попереднім періодом є помітно нижчою, проте інтенсивність емісії діоксиду вуглецю набуває високих значень (>10 кг/га/год.). На відміну від періоду активної вегетації сільськогосподарських культур, обсяги емісії CO_2 в зазначеному часовому інтервалі формувалися в результаті поступового розкладу відмерлих частин кореневої системи рослин і функціонування ґрунтової мікробіоти.

Висновки і пропозиції. У результаті проведених досліджень виявлено, що газовий склад і концентрація біогенних газових сполук у приземному (надґрунтовому) шарі повітря має вагомe значення для функціонування ґрунтів. У ході досліджень встановлено, що метан і сірководень, окрім традиційних притаманних їм біосферних функцій, виступили як індикатори стану торфувато-болотного карбонатного осушеного ґрунту на водно-льодовикових відкладах, який перебував в умовах періодичного тимчасового надмірного зволоження. Підвищена концентрація зазначених газів у приземному шарі торфувато-болотного ґрунту, на відміну від дерново-середньопідзолистого глеюватого легкосуглинкового, засвідчила про функціонування в ньому специфічної для анаеробних умов мікробіоти.

З'ясовано, що величина концентрації діоксиду вуглецю в надґрунтовому шарі повітря на висоті 0,35–0,5 м основних ґрунтів Полісся України залежить від пори року. Виявлено, що концентрація діоксиду вуглецю в приземному шарі повітря перевищує середню глобальну концентрацію цього газу в атмосфері (410,26 ppm) і становить у холодному періоді 537,70 ppm, у теплому, відповідно, 461,45 ppm. Нижча концентрація діоксиду вуглецю в теплому періоді порівняно з холодним пояснюється процесами його асиміляції вегетуючою рослинністю в процесі фотосинтезу, більш активним депонуванням ґрунтами та переміщенням повітряних мас у весняно-літній і літньо-осінній періоди.

На прикладі CO_2 встановлено, що роль концентрації в надґрунтовому шарі повітря у формуванні обсягів їх емісії з ґрунтів агроландшафтів Полісся України під час вегетації сільськогосподарських культур є неоднозначною й часто залежить від прояву інших (абіогічних) чинників ґрунтового середовища, передусім вологості. У разі гострої нестачі ґрунтової вологи спостерігалось різке зниження обсягів емісії CO_2 з ґрунту. Коефіцієнти кореляції між величинами інтенсивності емісії діоксиду вуглецю з основних ґрунтів Полісся України та його концентрацією в приземному надґрунтовому шарі повітря протягом вегетації рослин варіюють у широкому діапазоні: від -0,54 до 0,64. Це пов'язано з комплексом біологічних і фізичних чинників, які безпосередньо впливають на динаміку концентрації CO_2 в надґрунтовому шарі повітря. Загалом у період інтенсивного накопичення вегетативної маси та розвитку кореневої системи сільськогосподарських культур відбувалися інтенсивна емісія CO_2 з ґрунтів і підвищення концентрації діоксиду вуглецю в надґрунтовому шарі повітря. Далі після завершення активного накопичення вегетативної маси більшістю сільськогосподарських культур на фоні

стабілізації значень концентрації CO_2 обсяги його емісії з ґрунтів продовжували незначно зростати, що пов'язано з початком періоду розкладу залишків кореневих систем рослин, які не використовуються рослинами й поступово відмирають.

Зважаючи на результати досліджень і враховуючи поступове підвищення концентрації окремих біогенних газів разом із середньою глобальною температурою атмосфери, необхідно трансформувати наявні підходи до уповільнення означених процесів. Ідеться про наукове обґрунтування й упровадження комплексу організаційних, проектних та агротехнічних заходів, які збільшуватимуть обсяги біологічної асиміляції біогенних газів, насамперед CO_2 , з подальшою їх секвестрацією та нагромадженням у ґрунтах. Ідеться про необхідність оптимізації структури сільськогосподарських угідь з урахуванням емісійно-оцінного статусу ґрунтів, що віддзеркалює їх здатність до мінімізації втрат органічної речовини у вигляді CO_2 .

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Фоновая составляющая концентрации метана в приземном воздухе (станция мониторинга «Обнинск») / В.Н. Арефьев, Р.М. Акименко, Ф.В. Кашин, Л.Б. Упэнэк. Известия РАН. Серия «Физика атмосферы и океана». 2015. Том 51. № 6. С. 1–9.
2. Кобак К.Ч. Биотехнические компоненты углеродного цикла. Ленинград: Гидрометеиздат, 1998. 248 с.
3. Курганова И.Н., Кудяров В.Н. Оценка потоков диоксида углерода из почв таежной зоны России. Почвоведение. 1998. № 9. С. 1058–1070.
4. Годовая эмиссия CO_2 из серых лесных почв южного Подмосквья / А.А. Ларионова и др. Почвоведение. 2001. № 1. С. 72–80.
5. Ларионова А.А., Розанова Л.Н., Самойлов Т.И. Динамика газообмена в профиле серой лесной почвы. Почвоведение. 1988. № 11. С. 68–74.
6. Макаров Б.Н. Газовый режим почвы. Москва: Агропромиздат, 1988, 106 с.
7. Трофименко П.І., Борисов Ф.І. Спосіб визначення інтенсивності емісії газів з ґрунту: пат. 98998 Україна, МПК G01F 1/76 (2006/01) / заявник і патентовласник Житомирський національний агроекологічний університет. № у 2014 13566; заявл. 17.12.2014; опубл. 12.05.2015. Бюл. № 9.
8. Трофименко П.І., Борисов Ф.І. Наукове обґрунтування алгоритму застосування камерного статичного методу визначення інтенсивності емісії парникових газів із ґрунту. Агрохімія і ґрунтознавство. 2015. № 83. С. 17–24.
9. Tillage and soil carbon sequestration – what do we really know? / J.M. Baker, T.E. Oshsner, R.T. Venterea, J.T. Griffi s. Agriculture, Ecosystems and Environment. 2007. Vol. 118. P. 1–5.
10. Tillage and crop effects of seasonal dynamics of soil CO_2 evotution, water content, temperature and bulk density / A.J. Franzluebberrs, F.M. Hons, D.A. Zuberer. Applied: Soil Ecology. 1995. Vol. 2. P. 95–109.