

УДК 631.42:631.95

МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ДИХАННЯ ҐРУНТІВ ТА ЕМІСІЙНІ ВТРАТИ ВУГЛЕЦЮ АГРОЛАНДШАФТАМИ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ПОЛІССЯ НАПРИКІНЦІ ПЕРІОДУ ВЕГЕТАЦІЇ РОСЛИН

П. Трофименко, к. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0002-7692-5785

Н. Трофименко, к. е. н.

ORCID ID: 0000-0002-2086-1225

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

С. Веремєнко, д. с.-г. н.

ORCID ID: 0000-0003-4513-0733

Національний університет водного господарства та природокористування

Ф. Борисов, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0003-4871-1269

Житомирський національний агроекологічний університет

<https://doi.org/10.31734/agronomy2019.01.238>

Трофименко П., Трофименко Н., Веремєнко С., Борисов Ф. Методологія визначення інтенсивності дихання ґрунтів та емісійні втрати вуглецю агроландшафтами Лівобережного Полісся наприкінці періоду вегетації рослин

Висвітлено питання розробки методології визначення інтенсивності дихання ґрунтів (ІДГ) та емісійних втрат вуглецю агроландшафтами Лівобережного Полісся України наприкінці періоду вегетації рослин.

Встановлено, що підвищення концентрації діоксиду вуглецю практично в усіх ґрунтових відмінах відбувалося приблизно за ступеневою функцією. Починаючи з 20–25 хв. експозиції в кожній ізотермі спостерігали незначний загин, який становив собою так званий ефект насичення, що виникав унаслідок підвищення концентрації всередині камери та поступового пригнічення його продукування ґрунтом.

Як свідчать отримані дані, найвищу інтенсивність емісії діоксиду вуглецю спостерігали на торфово-болотному ґрунті, що пов'язано зі значною кількістю в ньому органічної речовини та проходженням активних процесів її розкладу.

Встановлено ІДГ для досліджуваних ґрунтів, кг/га/год: дерново-підзолистий зв'язно-піщаний ґрунт на давньому алювії: (рілля) – $3,0 \pm 0,28$, (лісосмуга) – $3,55 \pm 0,33$; ясно-сірий опідзолений супіщаний ґрунт на лесоподібних відкладах (кукурудза) – $3,08 \pm 0,29$; лучний глейовий крупнопилувато-легкосуглинковий ґрунт на сучасних алювіальних відкладах (сіножать) – $2,76 \pm 0,28$; торфово-болотний добре розкладений ґрунт на сучасних алювіальних відкладах (болото) – $10,70 \pm 0,38$. Встановлено, що інтенсивність продукування С-СО₂ дерново-підзолистим зв'язно-піщаним ґрунтом під полезахисною лісосмугою була вищою за відповідне значення на ріллі на 15,5%, що зумовлено більшою порівняно з кукурудзою кореневою масою сосни та сприятливішими абіотичними умовами у граничному з атмосферою шарі ґрунту.

Показано, що перспективним напрямом наукових досліджень є науково обґрунтоване прогнозування зміни обсягів емісії С-СО₂ з ґрунтів залежно від їхньої належності до певних сільськогосподарських угідь у контексті трансформації параметрів клімату.

Ключові слова: емісія СО₂, ґрунти Полісся, вуглець, методологія, інтенсивність дихання ґрунтів.

Trofymenko P., Trofimenko N., Veremeyenko S., Borysov F. Methodology of determination of intensity of soil burial and emission loss of carbon agro-landscapes of left bank in Polissya the event of a plane vegetation period

In the work the issues of development of the methodology of determining the intensity of soil respiration (ISR) and emission of carbon losses by agrolandscapes of the Left Bank Polissya of Ukraine at the end of the vegetation period are discussed.

It was established that the increase of carbon dioxide concentration in practically all soil abnormalities occurred approximately in accordance with the step function. From 20-25 minutes of exposure in each of the isotherms, there was a slight bend, which was the so-called «saturation effect», which arose as a result of an increase in the concentration inside the chamber and the gradual inhibition of its production by the soil.

According to the data obtained, the highest intensity of carbon dioxide emission was observed on peat-marsh soils, which is associated with a significant amount of organic matter in it and the passage of active processes of its decomposition.

The values of ISR for the studied soils, kg/ha / h, were established: sod-podzolic sandy soil on the ancient alluvium (arable land) $3,0 \pm 0,28$, (forest band) $3,55 \pm 0,33$; light gray podzolized sandy soils on loess-like sediments (maize) $3,08 \pm 0,29$; meadow gleyic coarse-dusty-light-loam soil on modern alluvial deposits (hayfield) $2,76 \pm 0,28$; peat-boggy well-

decomposed soils on modern alluvial deposits, marshes $10,70 \pm 0,38$. It was established that the intensity of the production of C-CO₂ by soddy podzolic binder sandy soil under field-protected forest poles exceeded the corresponding value on arable land by 15,5%, which is due to a larger, compared with corn root pine mass and favorable abiotic conditions in the atmosphere adjacent to the layer soils.

It is shown that the promising direction of scientific research is a scientifically grounded prediction of changes in the volumes of C-CO₂ emission from soils, depending on their belonging to certain agricultural lands in the context of climate change transformation.

Key words: CO₂ emissions, Polissya soil, carbon, methodology, intensity of soil respiration.

Постановка проблеми. Як відомо, останніми роками у світі чітко окреслилося одне з найнебезпечніших екологічних явищ – поступове підсилення парникового ефекту, спричинене перманентним підвищенням в атмосфері концентрації парникових газів: CO₂, N₂O, NO, CH₄ [11; 13]. Означений процес призводить до поступового підвищення середньої глобальної температури повітря, що спричинює низку змін у біосфері та є причиною помітної трансформації характеру функціонування ґрунтів. Водночас зміни температурного режиму атмосфери та ґрунтового покриву останніми десятиріччями призводять до підсилення емісії CO₂ з ґрунтів. На фоні цих процесів формується дефіцит органічної речовини ґрунтів, що знижує потенціал їхньої родючості. Тому чіткий облік вуглецевих потоків C-CO₂ до атмосфери є необхідною умовою досліджень особливостей продукування ґрунтами двоокису вуглецю й виявлення тенденцій зміни їхньої структури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з найважливіших проблем, які ставить Світова організація зі зміни клімату (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 1990, 1992, 1998, 2015) перед державами – її членами, є проведення в кожній з них повнішого і деталізованішого обліку викидів парникових газів до атмосфери, у тому числі з ґрунтів [12]. Цілу низку нормативних документів, які регламентують заходи із запобігання зміни клімату, розроблено і в Україні [2–7]. Адже кожна з цивілізованих країн світу має право здійснювати контрольовані викиди газів лише у межах визначеної для неї квоти.

Як відомо, інтенсивність емісії діоксиду вуглецю з ґрунту до атмосфери загалом залежить від багатьох чинників, які умовно можна поділити на декілька груп. Ґрунтові: тип ґрунту, гранулометричний склад, вміст гумусу, біологічна активність, рівень забезпечення поживними елементами, рН ґрунтового розчину, комплекс ґрунтових організмів; біологічні: сільськогосподарська культура, що росте на певному ґрунті з її фізіологічними особливостями (будова кореневої системи, маса коренів, належність до сімейства

рослин, сорт); абіотичні – температура повітря та ґрунту, його вологість; антропогенні (агрогенні): комплекс меліоративних, агрохімічних, агротехнічних прийомів, наявність і вміст у ґрунтах полютантів, які пригнічують діяльність макро- та мікроорганізмів. Усі зазначені чинники прямо або опосередковано впливають на рівень врожайності культур, а також змінюють умови функціонування ґрунтів, що призводить до зміни їхньої емісійної активності.

Нині вже ні в кого не викликають подиву посіви на Поліссі традиційних для Лісостепу України сільськогосподарських просапних і технічних культур: соняшнику, кукурудзи. Поступове збільшення в структурі сівозмін Полісся частки означених культур підсилює продукування ґрунтами діоксиду вуглецю до атмосфери [8] та збільшує масштаби загального агрогенного навантаження. У цьому аспекті розробка науково обґрунтованих методів вимірювання та оцінки обсягів емісії парникових газів з ґрунту є необхідною умовою проведення успішного моніторингу стану довкілля.

Важливою складовою удосконалення обліку та інвентаризації біогенних газів, що емітують із ґрунтів, є врахування їхньої належності до певних сільськогосподарських угідь. Більшість науковців погоджуються з тим, що продукування ґрунтами діоксиду вуглецю значною мірою залежить від інтенсивності їхнього використання. Відомо, що ґрунти, які використовуються під ріллею, мають вищі обсяги емісії CO₂ порівняно з умовно стабільними угіддями [1; 10]. Тому обрана тема наукових досліджень є достатньо актуальною.

Постановка завдання. Для досягнення мети дослідження ми ставили такі завдання:

- обґрунтувати алгоритм визначення маси CO₂, що виділяється з ґрунту під час емісії;
- визначити величини емісії для окремих характерних ґрунтів Полісся та розрахувати втрати абсолютної маси карбону в результаті дихання ґрунту ІДГ;
- дослідити значення ІДГ дерново-підзолистого зв'язно-піщаного ґрунту на давньому алювію на різних угіддях;

Виклад основного матеріалу. Дослідження емісії CO₂ проведено на ґрунтах ТОВ «Світанок» Куликівського району Чернігівської області у 2018 році.

У ході лабораторного аналізу ґрунтів були використані загальноприйняті методи. У відібраних ґрунтових зразках визначали: гумус за Тюріним, суму увібраних основ за Каппеном, лужногідролізований азот за Корнфільдом, рухомий фосфор та обмінний калій – за Кірсановим, рН сольове (ГОСТ 26483–85), вологість ґрунтів – термостатно-ваговим методом (ГОСТ 28268–89).

Під час досліджень використано статичний камерний метод визначення ІДГ з додатковим урахуванням змін атмосферного тиску і температури, які відбуваються за період експозиції. З цією метою проведено обґрунтування та розробку відповідного алгоритму вимірювань. Установку камери на ґрунтах, зайнятих просапними культурами, здійснювали між рослинами в рядах, в лісосмузі – між деревами. За необхідності перед початком вимірювань наявну на ґрунті рослинність зрізали.

Замір концентрації CO₂ в ізолюючій камері проводили за допомогою газоаналізатора з інфрачервоним сенсором «Testo-535» в період з 9 до 13 години. Атмосферний тиск і температуру всередині камери вимірювали вбудованою метеостанцією. Параметри камери: діаметр – 0,14 м, висота – 0,50 м, об'єм – 0,007693 м³. Експозиція – 10 хв, глибина занурення камери в ґрунт та замірювання температури – 0,05 м.

Масу CO₂, що виділяється з одиниці площі поверхні ґрунту в межах камери, знаходили за формулами [9]:

$$1. \text{ Якщо } a \leq 0 \quad M_{CO_2} = m_{CO_2} \cdot \frac{P}{RT} \cdot (H - h_z) \cdot C_{ppm}; \quad (1)$$

$$2. \text{ Якщо } a \neq 0$$

$$M_{CO_2} = m_{CO_2} \cdot \frac{P}{RT} \cdot (1 + a) \cdot (H - h_z) \cdot C_{ppm}; \quad (2)$$

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

де M_{CO_2} – маса вуглецю, що виділяється з 1 м² за 1 с, кг; m_{CO_2} – молярна маса діоксиду вуглецю; P – атмосферний тиск, Па; R – універсальна газова стала; T – температура атмосферного повітря, К; H – висота камери, м; h_z – глибина врізання камери в ґрунт, м; C_{ppm} – концентрація CO₂ всередині камери.

Якщо коефіцієнт $a \neq 0$, то поправку на об'єм розраховують за формулою (3), якщо ж $a \leq 0$, то поправка на об'єм дорівнює 0. Отож, якщо $a \leq 0$, то $V_2 = V_1$, а за $a \neq 0$ маса вуглецю M_C , що виділяється з одиниці площі поверхні ґрунту в межах камери, становитиме $M_C \approx 0,27273 \cdot M_{CO_2}$. Перерахунок маси вуглецю на 1 га проводили з урахуванням площі поверхні ґрунту, обмеженої камерою.

Основні показники родючості досліджуваних ґрунтів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Основні показники ґрунтової родючості досліджуваних ґрунтів

Ґрунт, угіддя, сільськогосподарська	Показник родючості					
	гумус, %	N-NH ₄ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	pH _{KCl}	Σ основ. мекв/100 г
Дерново-підзолистий зв'язно-піщаний ґрунт на давньому алювії, рілля, стерня пшениці озимої	0,89	49,0	86	16	5,7	5,6
Дерново-підзолистий зв'язно-піщаний ґрунт на давньому алювії, полезахисна лісосмуга, сосна звичайна (з підліском)	0,75	31,1	71	13	5,1	4,3
Ясно-сірий опідзолений супіщаний ґрунт на лесоподібних відкладах, рілля, кукурудза, воскова стиглість	1,0	67,2	118	29	5,6	7,6
Лучний глейовий крупнопилувато-легкосуглинковий ґрунт на сучасних алювіальних відкладах, сіножать, злакове різнотрав'я, заплава р. Десни	1,90	179,2	148	72	5,6	21,6
Торфово-болотний добре розкладений ґрунт на сучасних алювіальних відкладах, болото осушене, заплава р. Десни	2,0	105,0	58	74	5,7	33,0

Підвищення концентрації діоксиду вуглецю практично в усіх ґрунтових відмінах відбувається приблизно за однаковою закономірністю: за ступеневою функцією. При цьому слід зауважити, що приблизно починаючи з 20–25 хв експозиції в кожній ізотермі спостерігався незначний загин (див. рис.).

Виявлена закономірність пов'язана з тим, що в певний час починає прогресувати так званий ефект насичення, який виникає внаслідок підви-

щення концентрації всередині камери та поступового пригнічення його продукування ґрунтом.

Як свідчать дані табл. 2, найвищу інтенсивність емісії діоксиду вуглецю спостерігали на торфово-болотному ґрунті, що пов'язано зі значною кількістю в ньому органічної речовини та проходженням активних процесів її розкладу. Тому, зважаючи на те, що вказаний ґрунт є азональним, його роль у формуванні кругообігу вуглецю в біосфері важлива не лише для Полісся, а й для інших природно-кліматичних зон.

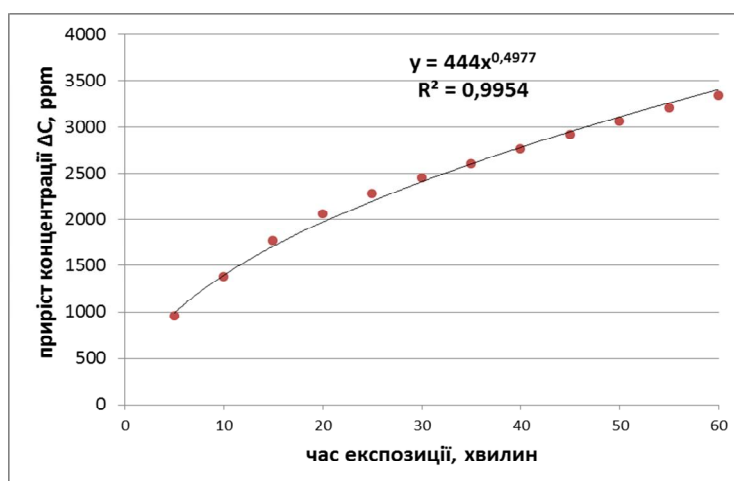


Рис. Наростання концентрації CO_2 в камері під час вимірювань ІДГ на ясно-сірому опідзоленому супіщаному ґрунті на лесоподібних відкладах (прояв ефекту «насичення» спостерігаємо після 20–30 хв).

Таблиця 2

Інтенсивність емісії CO_2 і втрат С досліджуваними ґрунтами наприкінці вегетації рослин (22.08–23.08.2018 р.)

№ з/п	Ґрунт, угіддя, сільськогосподарська культура	Абіотичний показник ґрунту		Маса, M_{CO_2} , M_C , кг/га/год
		температура, °C	вологість, %	
1	Дерново-підзолистий зв'язно-піщаний ґрунт на давньому алювії, рілля, стерня пшениці озимої	27,3	4,2	$\frac{3,0 \pm 0,28^*}{0,82 \pm 0,077}$
2	Дерново-підзолистий зв'язно-піщаний ґрунт на давньому алювії, полезахисна лісосмуга, сосна звичайна (з підліском)	24,5	8,5	$\frac{3,55 \pm 0,33}{0,97 \pm 0,089}$
3	Ясно-сірий опідзолений супіщаний ґрунт на лесоподібних відкладах, рілля, кукурудза, воскова стиглість	24,5	6,7	$\frac{3,08 \pm 0,29}{0,84 \pm 0,078}$
4	Лучний глейовий крупнопилувато-легкосуглинковий ґрунт на сучасних алювіальних відкладах, сіножать, злакове різнотрав'я, заплава р. Десни	21,3	13,8	$\frac{2,76 \pm 0,28}{0,75 \pm 0,076}$
5	Торфово-болотний добре розкладений ґрунт на сучасних алювіальних відкладах, болото осушене, заплава р. Десни	20,8	31,3	$\frac{10,70 \pm 0,49}{2,92 \pm 0,38}$

Примітка: *у чисельнику – маса CO_2 (M_{CO_2}), у знаменнику – маса С (M_C).

При цьому слід констатувати доволі низькі значення запасів ґрунтової вологи на глибині відбору зразка (0–10 см). Очевидно, формування потоків двоокису вуглецю зі земної поверхні до атмосфери в період досліджень зумовлене біологічною активністю нижчих за профілем горизонтів ґрунту, тоді верхній шар виконує пасивну (транспортну) роль дифузного або конвективного масопереміщення CO₂.

Встановлено, що спосіб використання одного й того самого ґрунту помітно впливає на обсяги продукованого ним діоксиду вуглецю. Так, у дерново-підзолистому зв'язно-піщаному ґрунті на водно-льодовикових відкладах, який використовують під ріллею, на момент завершення вегетації пшениці озимої інтенсивність виділення CO₂ порівняно з цим самим ґрунтом, але під лісосмугою є помітно нижчою (див. табл. 2). Це можна пояснити тим, що в ґрунті під лісосмугою, продукування оксиду вуглецю формується переважно за рахунок функціонування значної кореневої маси сосни звичайної та завдяки вищій його вологості. Водночас на стерні корені пшениці озимої після завершення вегетації є відмерлими і виступають у ролі органічної маси, на якій лише розпочинаються процеси її розкладу, що визначає відносно невисокі обсяги емісії CO₂.

Встановлено, що емісійна активність ґрунтів зумовлена їхньою вологістю ($r = 0,91$; $r_{\min} = 0,88$), тоді як вплив температури ґрунту на глибині занурення камери 5 см істотного кореляційного зв'язку не виявив. Зважаючи на низькі показники вологості, виявлену закономірність слід трактувати у контексті її дефіциту в ґрунтах і такою, що відіграла обмежувальну роль у формуванні обсягів емісії CO₂.

Висновки. У результаті проведених досліджень розроблено методологію визначення обсягів емісійних втрат вуглецю основними типами ґрунтів Полісся України. Встановлено обсяги емісійних втрат C-CO₂ основних ґрунтів Лівобережного Полісся України, кг/га/год: дерново-підзолистий зв'язно-піщаний ґрунт на давньому алювії (рілля) – $3,0 \pm 0,28$, (лісосмуга) – $3,55 \pm 0,33$; ясно-сірий опідзолений супіщаний ґрунт на лесоподібних відкладах (кукурудза) – $3,08 \pm 0,29$; лучний глейовий крупнопилувато-легкосуглинковий ґрунт на сучасних алювіальних відкладах (сіножать) – $2,76 \pm 0,28$; торфово-болотний добре розкладений ґрунт на сучасних алювіальних відкладах, болото – $10,70 \pm 0,38$. Встановлено, що емісійна активність ґрунтів зумовлена їхньою вологістю ($r = 0,91$; $r_{\min} = 0,88$), тоді як вплив

температури ґрунту на глибині занурення камери 5 см істотного кореляційного зв'язку не виявив. Незважаючи на близькість параметрів абіотичних умов зовнішнього середовища (температури повітря, ґрунту та вологості), інтенсивність продукування C-CO₂ дерново-підзолистим зв'язно-піщаним ґрунтом на давньому алювії під полезахисною лісосмугою перевищувала відповідне значення на ріллі на 15,5%. Останнє зумовлено більшою порівняно з кукурудзою у верхньому, граничному з атмосферою шарі кореневої масою сосни та сприятливішими абіотичними умовами.

Зважаючи на результати перспективним напрямом наукових досліджень є науково обґрунтоване прогнозування зміни обсягів емісії C-CO₂ з ґрунтів залежно від їхньої належності до певних сільськогосподарських угідь у контексті трансформації параметрів клімату. З погляду впливу на характер емісії CO₂ з ґрунту нині паралельно відбуваються два протилежно зумовлені процеси: з одного боку, підвищення його температури, з іншого – зменшення кількості опадів, яке призводить до зневоднення ґрунтового профілю та виникнення дефіциту ґрунтової вологи. Останнє уповільнює продукування ґрунтом діоксиду вуглецю, тоді як підвищення температури переважно викликає підсилення емісійних втрат CO₂.

Вирішення питання обліку обсягів CO₂ на різних типах ґрунтів під різними угіддями і сільськогосподарськими культурами на основі врахування інтенсивності проходження дисипації з одиниці площі за одиницю часу (інтенсивність дихання ґрунту або ценозу) дасть змогу провести якісну інвентаризацію пулів і потоків органічного вуглецю до атмосфери.

Бібліографічний список

1. Паников Н. С., Соловьев Г. А., Афремова В. Д. Биологическая продуктивность систематически удобряемого сенокосного луга на аллювиальной луговой почве. *Вестник Моск. ун-та. Сер. Почвоведение*. 1989. № 1. С. 58–66.
2. Про забезпечення виконання міжнародних зобов'язань України за Рамковою конвенцією ООН про зміну клімату та Кіотським протоколом до неї: Постанова КМУ від 17 квітня 2008 р. № 392. *Урядовий кур'єр*. 2008. 30 квіт.
3. Про затвердження Порядку функціонування національної системи оцінки антропогенних викидів та абсорбції парникових газів, які не регулюються Монреальським протоколом про речовини, що руйнують озоновий шар. Постанова КМУ від 21 квітня 2006 р. № 554. *Офіційний вісник України*. 2006. № 17. С. 62.
4. Про Міжвідомчу комісію із забезпечення виконання Рамкової конвенції ООН про зміну клімату: Постанова КМУ від 14 квітня 1999 р. № 583. *Офіційний вісник України*. 1999. № 15. С. 31.

5. Про порядок координації заходів щодо виконання зобов'язань України за Рамковою конвенцією Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату та Кіотським протоколом до зазначеної Конвенції: Постанова КМУ від 10 квітня 2006 р. № 468. *Офіційний вісник України*. 2006. № 15. С. 70.

6. Про рамкову конвенцію Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату: Закон України № 435/96-ВР від 29.10.96. *Відомості Верховної ради України*. 1996. № 5. Ст. 227.

7. Про ратифікацію Кіотського протоколу до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату: Закон України № 1430-IV (1430-15) від 04.02.2004. *Урядовий кур'єр*. 2004. 10 бер.

8. Сябрук О. П. Вплив природних та антропогенних чинників на динаміку емісії CO₂ з чорноземів в умовах Лівобережного Лісостепу України: дис. ... канд. с.-г. наук. Харків, 2015. 167 с.

9. Трофименко П. І., Борисов Ф. І. Наукове обґрунтування алгоритму застосування камерного ста-

тичного методу визначення інтенсивності емісії парникових газів із ґрунту. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. № 83. С. 17–24.

10. Baker J. M., Baker J. M., Oshner T. E., Venterea R. T., Griffis J. T. Tillage and soil carbon sequestration – what do we really know? *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2007. Vol. 118. P. 1–5.

11. Chamard P., Thiery F., di Sarra A. et al. Interannual variability of atmospheric CO₂ in the Mediterranean: Measurements at the island of Lampedusa. *Tellus*. 2003. 55B. P. 83–93.

12. Intergovernmental Panel on Climate Change. *United Nations framework convention on climate change: Handbook*. Bonn, 1992.

13. Tans P. P. Accounting of the Observed Increase in Oceanic and Atmospheric CO₂ and an Outlook for the Future. *Oceanography*, 2009. Vol. 22, 4. P. 26–35.

Стаття надійшла 03.05.2019.