

UDC 631.4

Bondar O.¹, Dr. Sci. (Biol.), Professor
Trofymenko P.¹, Cand. Sci. (Agric.) Associate Professor
Trofimenko N.², Cand. Sci. (Econ.), Assistant

¹*State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management*

²*Taras Shevchenko National University*

**DEVELOPMENT OF ALGORITHM FOR CALCULATING EXPOSITION
VALUE OF CO₂ CONCENTRATION IN AIR FOR TASKS
OF MONITORING OF SOILS OF UKRAINE POLISSYA
AGRO-LANDSCAPES**

The results of field, analytical researches and development of an algorithm for calculating the value of CO₂ concentration in the air of soils of agro-landscapes of Polissia of Ukraine are presented in the article.

A clear procedure for calculating exposure time for in situ studies is given, depending on the intensity of soil air exchange at a certain depth.

It is established that the exposure time t is directly proportional to the immersion of the chamber into the soil Δh and the height of the chamber ($H - \Delta h$), and inversely proportional to the gas diffusion coefficient in soil D .

Depending on the 6 types of air exchange intensity, approximate time ranges of measurements for soils with too difficult, relatively difficult, satisfactory, good, intense and too intense air exchange levels are established.

It is established that the time range of measurements of CO₂ concentration in the ground air, soil organic matter reserves, as well as determination of diffusion coefficients under in situ conditions is in the range of 2 to 11 hours.

In case of unsatisfactory values of soil diffusion coefficient (due to excessive compaction), the measurement time for the carbon dioxide concentration in the ground air exceeds 5 hours.

In the case of favorable values of D , the measurement time, as a rule, does not exceed 2-3 hours, characterizing this method of measurement as an express method.

Keywords: *CO₂ concentration, ground air, exposure of observations, carbon reserves, biological activity.*

УДК 631.4

Бондарь А. И.¹, д-р биол. наук, профессор
Трофименко П. И.¹, канд. с.-х. наук, доцент
Трофименко Н. В.², канд. экон. наук, ассистент

¹Государственная экологическая академия
последипломного образования и управления

²Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА И ЗНАЧЕНИЯ ЭКСПОЗИЦИИ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ CO₂ В ВОЗДУХЕ ПОЧВ АГРОЛАНДШАФТОВ ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ

Представлены результаты полевых, аналитических исследований и разработка алгоритма расчета величины экспозиции измерения концентрации CO₂ в воздухе почв агроландшафтов Полесья Украины.

Приведен четкий порядок расчета времени экспозиции исследований в условиях *in situ*, в зависимости от интенсивности воздушного обмена почвы на определенной глубине.

Установлено, что время экспозиции t прямо пропорционально величине погружения камеры в почву Δh и высоте камеры $H-\Delta h$ и обратно пропорционально коэффициенту диффузии газа в почве D .

В зависимости от 6 типов интенсивности воздушного обмена, установлено ориентировочные временные диапазоны измерений для почв с весьма затрудненным, относительно затрудненным, удовлетворительным, хорошим, интенсивным и очень интенсивным уровнем воздушного обмена.

Установлено, что временной диапазон измерений величины концентрации CO₂ в почвенном воздухе, запасов органического вещества почвы, а также определения коэффициентов диффузии в условиях *in situ* находится в пределах от 2 до 11 часов.

В случае неудовлетворительных значений коэффициента диффузии почв (вследствие чрезмерного уплотнения) время проведения измерения концентрации двуокси углерода в почвенном воздухе превышает 5 часов.

В случаях благоприятных значений величины D , время измерения, как правило, не превышает 2-3 часов, что характеризует данный способ измерений как экспресс-метод.

Ключевые слова: концентрация CO₂, почвенный воздух, экспозиция наблюдений, запасы углерода, биологическая активность.

УДК 631.4

Бондар О. І.¹, д-р біол. наук, професор
Трофименко П. І.¹, канд. с.-г. наук, доцент
Трофименко Н. В.², канд. екон. наук, асистент

¹Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка

АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ТА ВЕЛИЧИНИ ЕКСПОЗИЦІЇ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ CO₂ В ПОВІТРІ ҐРУНТІВ АГРОЛАНДШАФТІВ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

В роботі представлено результати польових, аналітичних досліджень та розробка алгоритму розрахунку величини експозиції вимірювання концентрації CO₂ в повітрі ґрунтів агроландшафтів Полісся України.

Наведено чіткий порядок обрахунку часу експозиції під досліджень в умовах *in situ*, залежно від інтенсивності повітряного обміну ґрунту на певній глибині.

Встановлено, що час експозиції t прямо пропорційний величині занурення камери в ґрунт Δh та висоті камери $(H-\Delta h)$ і обернено пропорційний коефіцієнту дифузії газу в ґрунті D .

Залежно від 6 типів інтенсивності повітряного обміну, встановлено орієнтовні часові діапазони вимірювань для ґрунтів з надто утрудненим, відносно утрудненим, задовільним, добрим, інтенсивним та надто інтенсивним рівнем повітряного обміну.

Встановлено, що часовий діапазон вимірювань величини концентрації CO₂ в ґрунтовому повітрі, запасів органічної речовини ґрунту, а також визначення коефіцієнтів дифузії в умовах *in situ* знаходиться в межах від 2 до 11 годин.

У випадку незадовільних значень коефіцієнту дифузії ґрунтів (внаслідок надмірного ущільнення) час проведення вимірювання концентрації двоокису вуглецю в ґрунтовому повітрі перевищує 5 годин.

У випадках сприятливих значень величини D , час вимірювання, як правило, не перевищує 2-3 годин, що характеризує даний спосіб вимірювань як експрес-метод.

Ключові слова: концентрація CO₂, ґрунтове повітря, експозиція спостережень, запаси вуглецю, біологічна активність.

Вступ. Загально відомо, що одним з найбільш універсальних та інформативних показників стану ґрунту є його біологічна активність як величина, що опосередковано характеризує не лише його екологічний стан, а також свідчить про певну функціональну врівноваженість та стабільність ґрунтових систем. Нині інтерпретація біологічної активності ґрунту є ширшою і базується на врахуванні результатів функціонування наявних в ньому мікроорганізмів, виділень коренів рослин (ризосферне дихання) та живих організмів у вигляді: діоксидів вуглецю, метану, окислів нітрогену та сполук

сірки – $\text{CO}_2 \leftrightarrow (\text{O}_2)$, CH_4 , CO , NO , N_2O , NO_2 , NH_3 , SO_2 , H_2S .

Поряд з емісією CO_2 з поверхні ґрунтів важливе значення у кругообігу органічного вуглецю відіграє його розподіл за ґрунтовим профілем, окремі пули якого знаходяться у твердій, рідкій або газоподібній фазах ґрунту. У верхній частині профілю величина концентрації CO_2 значною мірою зумовлена інтенсивністю перебігу повітрообміну з атмосферою, що є закономірним. Однак, зі збільшенням глибини, концентрація двоокису вуглецю в ґрунтовому повітрі підвищується, що в значній мірі зумовлено зниженням інтенсивності повітряного обміну. Крім того, запаси CO_2 в ґрунтовому повітрі змінюються, залежно від гранулометричного складу ґрунту, рівня залягання підґрунтових вод, просторового поширення кореневих систем рослин, ступеня і типу засолення.

Деякі з сучасних науковців вважають, що обсяги CO_2 , що виділяє ґрунт, не можуть перевищувати запаси в ньому біологічно активної органічної речовини (Семенов В. М., Зинякова Н. Б., 2018). Біологічно активною органічною речовиною називають потенційно мінералізуєму, високо енергетичну і поживну речовину, що швидко утилізується мікроорганізмами та здатну до хімічних і біохімічних взаємодій з тривалістю існування менш 3-10 років (Семенов В. М., Тулина А. С., 2011). Лише незначна її найбільш лабільна частина у вигляді CO_2 знаходиться в ґрунтовому повітрі. Залежно від способу транспортування, ця частина поступово переміщується до атмосфери, беручи безпосередню участь повітряному обміні.

Мета досліджень. Метою досліджень було розробка алгоритму вирахування орієнтовного часу експозиції для вимірювання концентрації газів (на прикладі CO_2) та розрахунок його тривалості, залежно від коефіцієнту дифузії ґрунтів. Величина останнього зумовлена інтенсивністю повітряного обміну ґрунту, який в свою чергу залежить від багатьох властивостей: гранулометричного складу, вологості, ступеня ущільнення, поширення коренів рослин.

Об'єкти і методи досліджень. Польові дослідження на базі дослідної станції Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН України, в Козелецькому районі Чернігівської області на ясно-сірому опідзоленому супіщаному ґрунті на лесовидних суглинках.

Під час вимірювань використано загально прийняті методи досліджень ґрунтів, а також раніше оприлюднену методологію визначення інтенсивності емісії CO_2 з ґрунту (Трофименко П. І., Борисов Ф. І., 2018; Trofymenko P. I., Trofimenko N. V., Zatserkovny V. I., 2018).

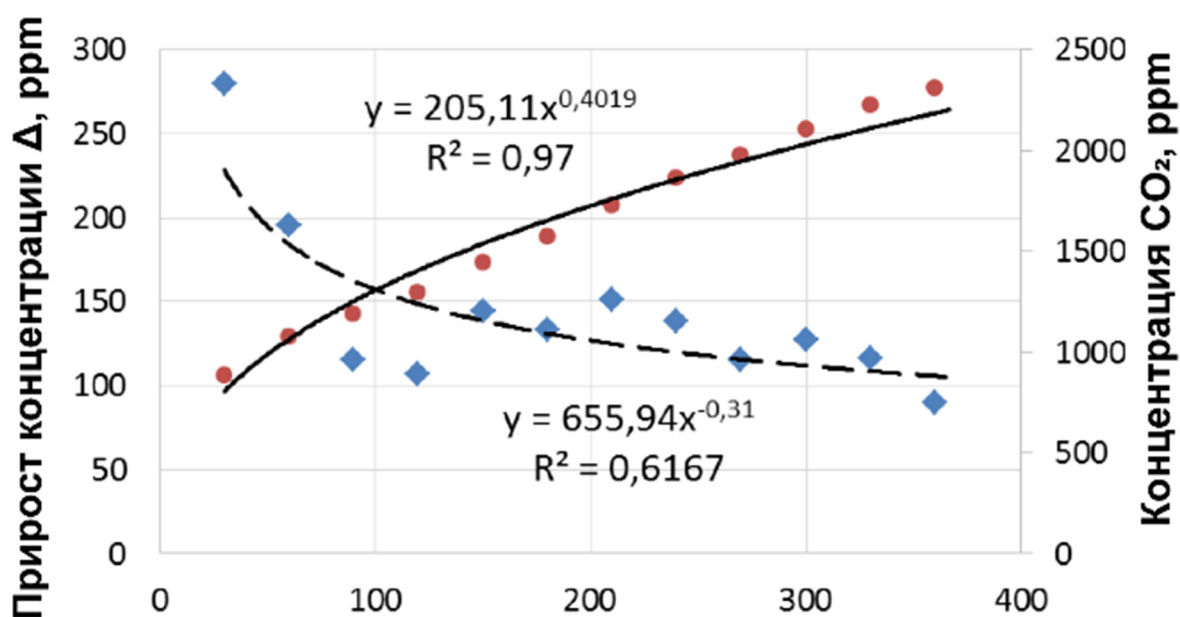
У відібраного з шару ґрунту 0-30см ґрунтового зразку визначали: вуглець органічної речовини ДСТУ 4289 – 0,96 %; гранулометричний склад за Качинським ДСТУ 4730:2007, вміст фізичної глини – 16,8 %; суму увібраних основ – 2,4 ммоль/100 г ґрунту; амонійний азот ДСТУ 4729 – 150,4 мг/кг ґрунту відповідно; рухомий фосфор та обмінний калій ДСТУ 4115-2002 – 141,1 та

198,6 мг/кг ґрунту відповідно; гідролітичну кислотність ГОСТ 26212 – 2,23 ммоль/100 г ґрунту; рН водний ГОСТ 26423-85 – 5,6; рН сольовий ГОСТ 26483-85 – 4,8.

Для проведення досліджень спеціально розроблено та сконструйовано пристрій для визначення біологічної активності ґрунту (Трофименко П. І., Борисов Ф. І., Трофименко Н. В., Веремєєнко С. І., 2019) та проведено вимірювання концентрації на глибині 10, 20, 30, 40 та 50 см.

Результати роботи. В одній з попередніх робіт представлено результати польових вимірювань профільного розподілу концентрації CO_2 в ґрунтовому повітрі дерново-підзолистого супіщаного глеюватого ґрунту на лесовидних відкладах (Трофименко П. І., Трофименко Н. В., Борисов Ф. І., Зацерковный В. І., 2019).

Під час вимірювань визначення часової експозиції, в межах якої відбувалося вимірювання початкової та кінцевої концентрацій діоксиду вуглецю в ізолюючій камері, відбувалося з урахуванням місця знаходження точки перетину кривих: насичення повітряної суміші двоокисом вуглецю і приросту концентрації CO_2 . Як правило, таке насичення спостерігалось після 100-ї хвилини експозиції (рис. 1). Величина концентрації CO_2 в ґрунтовому повітрі склала 4219 мг/м³, що відповідає запасам 1,326 кг/га.



Умовні позначення: — концентрація діоксиду вуглецю в ізолюючій камері;
— приріст концентрації CO_2 в камері (ΔC)

Рис. 1. Залежність приросту концентрації CO_2 в ізолюючій камері (ΔC) від концентрації діоксиду вуглецю в повітряній суміші протягом експозиції, ррт, шар 0-20 см

Однак, точний розрахунок оптимального часу експозиції потребував проведення додаткових досліджень, належного теоретичного обґрунтування та чіткої алгоритмізації.

Алгоритм розрахунку часу експозиції вимірювання концентрації CO_2 в ґрунтовому повітрі наведено нижче.

У відповідності до закону Фіка:

$$\Delta M = -D \cdot \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \cdot \Delta S \cdot \Delta \tau \quad (1)$$

де ΔM – маса речовини, що переноситься через площадку ΔS , перпендикулярну до напрямку дифузійного потоку, протягом часу $\Delta \tau$ при градієнті густини $\frac{\Delta \rho}{\Delta x}$; D – коефіцієнт дифузії.

Знак «-» вказує на те, що дифузія відбувається у напрямі протилежному напрямку градієнта концентрації $\frac{\Delta \rho}{\Delta x}$, тобто від шарів з більшою концентрацією до шарів з меншою концентрацією.

Якщо ввести $\Delta m = \frac{\Delta M}{\Delta S \cdot \Delta \tau}$ то, закон Фіка набуває такого вигляду:

$$\Delta m = -D \cdot \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \quad (2)$$

Δm – маса речовини, що переноситься через одиницю поверхні за одиницю часу.

Враховуючи, що $\rho = c \cdot m$ рівняння (1) можна записати так:

$$\Delta m = -D \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x} \cdot m \quad (3)$$

де c – концентрація молекул, m – маса однієї молекули.

В нашому випадку рівняння (3) набуває наступного вигляду:

$$\Delta m = -D \cdot \frac{\Delta c}{\Delta h} \cdot m_{CO_2} \quad (4)$$

де: Δh величина заглиблення камери в ґрунт, m_{CO_2} – маса молекули CO_2 , $\frac{\Delta c}{\Delta h}$ – градієнт концентрації CO_2 .

Оскільки концентрація CO_2 в камері зростає практично лінійно майже до стану динамічної рівноваги, то для оцінки часу експозиції t , що відповідає стану динамічної можна покласти:

$$\frac{\Delta c}{\Delta h} = \frac{c_2 - \frac{c_1 - c_2}{2}}{\Delta h} = \frac{c_2 - c_1}{2 \cdot \Delta h} \quad (5)$$

Підставивши формулу (3) у формулу (4) отримаємо:

$$\Delta m = D \cdot \frac{c_2 - c_1}{2 \Delta h} \cdot m_{CO_2} \quad (6)$$

де: c_1 – початкова концентрація CO_2 в камері, c_2 – концентрація CO_2 в ґрунті на глибині Δh .

Маса CO_2 в камері розраховується за формулою:

$$M = M_1 + M_2 \quad (7)$$

де: M_1 – початкова маса CO_2 в камері, M_2 – добавка маси CO_2 в камері внаслідок дифузії.

Складові формули (6) розраховують так

$$M_1 = c_1 \cdot S \cdot (H - \Delta h) m_{CO_2} \quad (8)$$

$$M_2 = \Delta m \cdot s \cdot t = D \cdot \frac{c_2 - c_1}{2\Delta h} \cdot m_{CO_2} \cdot s \cdot t \quad (9)$$

Виходячи з вище наведеного маємо:

$$M = c_1 \cdot S \cdot (H - \Delta h) \cdot m_{CO_2} + D \cdot \frac{c_2 - c_1}{2\Delta h} \cdot m_{CO_2} \cdot s \cdot t \quad (10)$$

Таким чином, густину CO_2 в камері знайдемо за формулою:

$$\rho = \frac{M}{S \cdot (H - \Delta h)} = \frac{c_1 \cdot S \cdot (H - \Delta h) \cdot m_{CO_2} + D \cdot \frac{c_2 - c_1}{2\Delta h} \cdot m_{CO_2} \cdot s \cdot t}{S \cdot (H - \Delta h)} = c_1 m_{CO_2} + \frac{D \cdot (c_2 - c_1) \cdot m_{CO_2} \cdot t}{2\Delta h \cdot (H - \Delta h)}$$

Врахувавши, що $\rho = c_3 \cdot m_{CO_2}$ отримаємо $c_3 m_{CO_2} = c_1 m_{CO_2} + D \frac{(c_2 - c_1) \cdot t}{2\Delta h (H - \Delta h)}$

або

$$c_3 = c_1 + D \cdot \frac{(c_2 - c_1) \cdot t}{2\Delta h \cdot (H - \Delta h)} \quad (11)$$

де c_3 – концентрація CO_2 у камері.

Оскільки в стані динамічної рівноваги $c_3 = c_2$ то час експозиції t , що відповідає стану динамічної рівноваги, знайдемо з рівняння (11).

$$c_2 = c_1 + D \cdot \frac{(c_2 - c_1) \cdot t}{2\Delta h \cdot (H - \Delta h)} \Rightarrow c_2 - c_1 = D \cdot \frac{(c_2 - c_1) \cdot t}{2 \cdot \Delta h \cdot (H - \Delta h)} \Rightarrow \frac{D \cdot t}{2 \cdot \Delta h \cdot (H - \Delta h)}$$

В результаті перетворень, шукана формула набула вигляду:

$$t = \frac{2 \cdot \Delta h \cdot (H - \Delta h)}{D} \quad (12)$$

З рівняння (12) випливає, що час експозиції t прямо пропорційний величині занурення камери в ґрунт Δh та висоті камери $H - \Delta h$ і обернено пропорційний коефіцієнту дифузії газу в ґрунті D .

Як відомо, дифузія газів в ґрунті характеризується коефіцієнтом дифузії, який дорівнює кількості газу (в cm^3), що надходить в секунду через $1 cm^2$ поверхні при потужності шару $1 cm$ і градієнті концентрації, що дорівнює одиниці.

За даними Люндегорда, величина коефіцієнту дифузії CO_2 менша за $0,009 g/cm^2$ в сек – межа нормальної аерації більшості ґрунтів (Lündegårdh H., 1927). При меншому його значенні газообмін ґрунту утруднений.

В результаті проведених спостережень на ясно-сірому опідзоленому супіщаному ґрунті та розробленого алгоритму обрахунків (формули 1-12), обґрунтовано орієнтовний час експозиції визначення концентрації CO_2 в ґрунтовому повітрі за профілем, залежно від коефіцієнта дифузії та інтенсивності повітряного обміну (таблиці 1-5).

Як свідчать наведені результати, часовий діапазон вимірювань величини концентрації CO_2 в ґрунтовому повітрі, запасів органічної речовини ґрунту, які зумовлені значеннями коефіцієнтів дифузії діоксиду вуглецю через шар ґрунту в умовах *in situ*. Інтервал значень експозиції знаходиться в межах від 2 до 11 годин.

**1. Час експозиції, залежно від коефіцієнта дифузії CO₂ ґрунту.
Висота камери (H = 0,5м), глибина занурення в ґрунт 0,02м.**

Інтенсивність повітряного обміну	Коефіцієнт дифузії	Час експозиції	
	$D, \text{кг} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	t, с	t, хв
надто утруднений	$< 5 \cdot 10^{-7}$	> 38400	> 640
відносно утруднений	$> 5 \cdot 10^{-7} - 10^{-6}$	$< 38400 - 19200$	$< 640-320$
задовільний	$> 10^{-6} - 1,5 \cdot 10^{-6}$	$< 19200 - 12800$	$< 320-213,3$
добрий	$> 1,5 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-6}$	$< 12800 - 9600$	$< 213,3-160$
інтенсивний	$> 2 \cdot 10^{-6} - 2,5 \cdot 10^{-6}$	$< 9600 - 7680$	$< 160-128$
надто інтенсивний	$> 2,5 \cdot 10^{-6}$	< 7680	< 128

**2. Час експозиції, залежно від коефіцієнта дифузії CO₂ ґрунту.
Висота камери (H = 0,4м), глибина занурення в ґрунт 0,02м.**

Інтенсивність повітряного обміну	Коефіцієнт дифузії	Час експозиції	
	$D, \text{кг} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	t, с	t, хв
надто утруднений	$< 5 \cdot 10^{-7}$	> 30400	$> 506,7$
відносно утруднений	$> 5 \cdot 10^{-7} - 10^{-6}$	$< 30400- 15200$	$< 506,7-253,3$
задовільний	$> 10^{-6} - 1,5 \cdot 10^{-6}$	$< 15200- 10133$	$< 253,3-168,9$
добрий	$> 1,5 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-6}$	$< 10133 - 7600$	$< 168,9-126,7$
інтенсивний	$> 2 \cdot 10^{-6} - 2,5 \cdot 10^{-6}$	$< 7600- 6080$	$< 126,7-101,3$
надто інтенсивний	$> 2,5 \cdot 10^{-6}$	< 6080	$< 101,3$

**3. Час експозиції, залежно від коефіцієнта дифузії CO₂ ґрунту.
Висота камери (H = 0,3м), глибина занурення в ґрунт 0,02м.**

Інтенсивність повітряного обміну	Коефіцієнт дифузії	Час експозиції	
	$D, \text{кг} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	t, с	t, хв
надто утруднений	$< 5 \cdot 10^{-7}$	> 22400	$> 373,3$
відносно утруднений	$> 5 \cdot 10^{-7} - 10^{-6}$	$< 22400-11200$	$< 373,3-186,7$
задовільний	$> 10^{-6} - 1,5 \cdot 10^{-6}$	$< 11200- 7467$	$< 186,7-124,4$
добрий	$> 1,5 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-6}$	$< 7467 - 5600$	$< 124,4-93,3$
інтенсивний	$> 2 \cdot 10^{-6} - 2,5 \cdot 10^{-6}$	$< 5600- 4480$	$< 93,3-74,7$
надто інтенсивний	$> 2,5 \cdot 10^{-6}$	< 4480	$< 74,7$

**4. Час експозиції, залежно від коефіцієнта дифузії CO₂ ґрунту.
Висота камери (H = 0,3м), глибина занурення в ґрунт 0,02м.**

Інтенсивність повітряного обміну	Коефіцієнт дифузії	Час експозиції	
	$D, \text{кг} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	t, с	t, хв
надто утруднений	$< 5 \cdot 10^{-7}$	> 14400	> 240
відносно утруднений	$> 5 \cdot 10^{-7} - 10^{-6}$	$< 14400- 7200$	$< 240-120$
задовільний	$> 10^{-6} - 1,5 \cdot 10^{-6}$	$< 7200- 4800$	$< 120-80$
добрий	$> 1,5 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-6}$	$< 4800 - 3600$	$< 80-60$
інтенсивний	$> 2 \cdot 10^{-6} - 2,5 \cdot 10^{-6}$	$< 3600-2880$	$< 60-48$
надто інтенсивний	$> 2,5 \cdot 10^{-6}$	< 2880	< 48

**5. Час експозиції, залежно від коефіцієнта дифузії CO₂ ґрунту.
Висота камери (H = 0,1м), глибина занурення в ґрунт 0,02м.**

Інтенсивність повітряного обміну	Коефіцієнт дифузії	Час експозиції	
	$D, \text{кг} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	t, с	t, хв
надто утруднений	$< 5 \cdot 10^{-7}$	> 6400	> 106,7
відносно утруднений	$> 5 \cdot 10^{-7} - 10^{-6}$	< 6400- 3200	< 106,7-53,3
задовільний	$> 10^{-6} - 1,5 \cdot 10^{-6}$	< 3200- 2133	< 53,3-35,6
добрий	$> 1,5 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-6}$	< 2133 -1600	< 35,6-26,7
інтенсивний	$> 2 \cdot 10^{-6} - 2,5 \cdot 10^{-6}$	< 1600-1280	< 26,7-21,3
надто інтенсивний	$> 2,5 \cdot 10^{-6}$	< 1280	< 21,3

Висновки. Загалом, у випадку незадовільних значень коефіцієнту дифузії ґрунтів (унаслідок надмірного ущільнення) час проведення вимірювання концентрації двоокису вуглецю в ґрунтовому повітрі перевищує 5 годин. Коли ж стан ґрунту сприятливий, а значення величини D близькі до оптимальних, час вимірювання, як правило, не перевищує 2-3 годин, що характеризує даний спосіб вимірювань як експрес-метод.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Семенов В. М., Зинякова Н. Б. Запасы активного органического вещества и эмиссионный потенциал зональных и интразональных почв на территории европейской части России. *Сб. работ Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН / ПЭММЭ*, 2018. Том XXIX, № 3. С. 8-19. DOI: 10.21513/0207-2564-2018-3-08-19.

Семенов В. М., Тулина А. С. Сравнительная характеристика минерализуемого пула органического вещества в почвах природных и сельскохозяйственных экосистем. *Агрохимия*, 2011. № 12. С. 53-63.

Трофименко П. І., Борисов Ф. І. Спосіб визначення інтенсивності емісії газів з ґрунту : Пат. № 117911 Україна, МПК G01N 33/24 (2006.01) G01N 7/14 (2006.01) / заявка № а 2014 12734 25.10.2018.

Трофименко П. І., Борисов Ф. І., Трофименко Н. В., Веремеєнко С. І. Пристрій для визначення біологічної активності ґрунту : Пат. 132985 Україна, МПК G01N 33/24 (2006/01) / заявка № u 2018 08293; дата заявл. 27.07.18 опубл. 25.03.2019 // Бюл. № 6.

Трофименко П. І., Трофименко Н. В., Борисов Ф. І., Зацерковный В. І. Методология исследования и профильное распределение концентрации диоксида углерода в воздухе дерново-подзолистой глееватой супесчаной почвы. *Почвоведение и агрохимия*, 2019. № 1(62). С. 73-81.

Lündegårdh H. Carbon dioxide evolution of soil and crop growth. *Soil Sci.*, 1927. Vol. 23. № 6. P. 417-453.

Trofymenko P. I., Trofymenko N. V., Zatserkovnyi V. I. Monitoring of the intensity of CO₂ emissions from light gray podzolized gley sandy loam soil under winter wheat and the dynamics of its factors. *Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment: XII International Scientific Conference* (13-16 November 2018). Kyiv. Ukraine. 2018.

REFERENCES

Semenov, V. M., Zinyakova, N. B. (2018). Zapasy aktivnogo organicheskogo veshchestva i emissionnyy potentsial zonal'nykh i intrazonal'nykh pochv na territorii yevropeyskoy chasti Rossii [Reserves of active organic matter and the emission potential of zonal and intrazonal soils in the European part of Russia]. *Sb. rabot Instituta fiziko-khimicheskikh i biologicheskikh problem pochvovedeniya RAN / PEMME – Sat works of the Institute of Physico-Chemical and Biological Problems of Soil Science RAS / PEMME*, XXIX, 3, 8-19. DOI: 10.21513 / 0207-2564-2018-3-08-19. [In Russian].

Semenov, V. M., Tulina, A. S. (2011). Sravnitel'naya kharakteristika mineralizuyemogo pula organicheskogo veshchestva v pochvakh prirodnykh i sel'skokhozyaystvennykh ekosistem [Comparative characteristics of the mineralized pool of organic matter in the soils of natural and agricultural ecosystems]. *Agrokimiya – Agrochemistry*, 12, 53-63. [In Russian].

Trofimenko, P. I., Borisov, F.I. (2018). Sposib vyznachennya intensyvnosti emisiyi haziv z gruntu [Method of determination of gas emission intensity from soil]. Pat. No. 117911 Ukraine, IPC G01N 33/24 (2006.01) G01N 7/14 (2006.01). Application No. A 2014 12734 10/25/2018. [In Ukrainian].

Trofimenko, P. I., Borisov, F. I., Trofimenko, N. V., Veremeenko, S. I. (2019). Prystriy dlya vyznachennya biolohichnoyi aktyvnosti gruntu [A device for determining soil biological activity]. Pat. 132985 Ukraine, IPC G01N 33/24 (2006/01). Application No. U 2018 08293; date of applications 27.07.18. 03/25/2019. Bul. № 6. [In Ukrainian].

Trofimenko, P. I., Trofimenko, N. V., Borisov, F. I., Zatserkovny, V. I. (2019). Metodologiya issledovaniya i profil'noye raspredeleniye kontsentratsii dioksida ugleroda v vozdukke dernovo-podzolistoy gleyevatoy supeschanoy pochvy [Research methodology and profile distribution of carbon dioxide concentration in the air of sod-podzolic gleyized sandy loamy soil]. *Pochvovedeniye i agrokimiya – Soil Science and Agricultural Chemistry*, 1 (62), 73-81. [In Russian].

Lündegårdh H. (1927). Carbon dioxide evolution of soil and crop growth. *Soil Sci.*, 23, 6, 417-453.

Trofymenko P. I., Trofimenko N. V., Zatserkovnyi V. I. (2018). Monitoring of the intensity of CO₂ emissions from light gray podzolized gley sandy loam soil under winter wheat and the dynamics of its factors. *Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment: XII International Scientific Conference* (13-16 November 2018). Kyiv. Ukraine.