

МОДЕЛЮВАННЯ ТА АГРОЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕКРЕАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ ҐРУНТІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ СТАЛОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ

П.І. Трофименко, кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
В.П. Журавльов, доктор фізико-математичних наук, доцент
Житомирський національний агроекологічний університет
Н.В. Трофименко, кандидат економічних наук
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
С.І. Веремеєнко, доктор сільськогосподарських наук, професор
Національний університет водного господарства та природокористування

У роботі висвітлено алгоритм моделювання, агроекологічне обґрунтування та особливості використання рекреаційного періоду ґрунтів для забезпечення їх сталого функціонування. На основі інформації про емісійну активність ґрунтів запропоновано виділяти період їх функціонування з низькою інтенсивністю емісії CO₂ як рекреаційний період ґрунтів (РПГ). У межах РПГ упродовж холодного та теплого періодів року запропоновано виділяти осінню (I) та весняну (II) його частини. Показано, що урахування у межах РПГ часових інтервалів з різною небезпекою підсилення емісії CO₂ дозволяє мінімізувати втрати C-CO₂.

Ключові слова: : моделювання, стале функціонування, рекреаційний період ґрунтів, емісія CO₂.

Постановка проблеми. Загальновідомо, що останніми роками разом з інтенсифікацією виробництва продукції рослинництва та підсиленням антропогенного тиску на ґрунти, зокрема в Україні [9, 12], спостерігається поступове підвищення середньої температури повітря [3] та середньої глобальної концентрації парникових газів, у тому числі й двоокису карбону [17, 18]. При цьому перспектива виникнення дефіциту продовольства в окремих державах унаслідок втрат ґрунтами органічної речовини та зниження рівня їх родючості є доволі реальною. За таких умов для більшості країн світу проблеми пошуку зважених способів використання ґрунтів як основного засобу виробництва продукції рослинництва лишаються доволі актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з досліджуваної теми. Незважаючи на певне уповільнення зростання темпів викидів парникових газів в Україні порівняно з 1990 роком [10], результати наукових досліджень за останні десятиріччя свідчать про втрату ґрунтами значної частини потенціалу своєї родючості. Відчутне погіршення показників родючості ґрунтів відбулося й на території Полісся України [1]. За нашими даними, у дерново-підзолистих ґрунтах різного гранулометричного складу відбулося зниження вмісту поживних елементів

та запасів органічної речовини [11]. Причому дефіцит у ґрунтах Полісся достатньої кількості сировини у вигляді рослинних решток для новоутворення та закріплення (секвестрації) органічного вуглецю викликає у науковців особливе занепокоєння. Перманентні втрати органічної речовини ґрунтами останніми десятиріччями вимагають розробки науково обґрунтованих підходів щодо зваженого використання наявного ґрунтового-ресурсного потенціалу.

Починаючи з 90-х років ХХ-го сторіччя, наукова спільнота докладає значних зусиль, спрямованих на мінімізацію агрогенного навантаження на ґрунти. У цьому контексті розроблення відповідних підходів, способів та методів використання ґрунту як засобу виробництва рослинницької продукції має різну спрямованість. Йдеться про розроблення технічних, технологічних організаційних та інших способів ведення екологічно зваженого, невиснажливого землеробства. Як відомо, до них належать агротехнічні, меліоративні та агрохімічні прийоми. Безперечно, у широкому розумінні означена різновекторність відіграє важливу позитивну роль, забезпечуючи певну комплексність у вирішенні означеної проблеми. Однак, враховуючи співвідношення витрат на їх здійснення та реальну дієвість у вирішенні задач

скорочення обсягів емісії CO₂ з ґрунтів, доцільно визначити певні пріоритети. У першу чергу необхідно звернути увагу на комплекс організаційних заходів, які не потребують великих матеріальних витрат. Різною мірою алгоритм виконання агротехнічних робіт залежить від багатьох чинників: логістичних, фінансових, технологічних, проблем менеджменту та інших. За таких умов обрання часу проведення основного обробітку ґрунту землекористувачами, особливо в осінній період, не завжди є оптимальним для мінімізації викидів CO₂.

У кінцевому результаті відсутність часової узгодженості між перебігом процесів розкладу органічної сировини у ґрунтах та обранням періоду їх обробітку призводить до не виправданих втрат органічної речовини унаслідок підсилення емісії CO₂.

Зважаючи на чітку перспективу трансформації кліматичних умов, в яких функціонують ґрунти на території України, належне наукове обґрунтування оптимального періоду проведення їх обробітку являє собою важливу наукову проблему.

Мета досліджень. Основна гіпотеза даного дослідження полягала у визначенні інтервалу функціонування ґрунтів з абіотичними умовами оточуючого середовища, які забезпечують мінімальні темпи розкладу та мінералізації органічної речовини. Метою досліджень було розробити алгоритм визначення часового інтервалу відносної стабілізації емісії діоксиду вуглецю з ґрунтів Полісся з мінімальним рівнем інтенсивності й найбільш сприятливими умовами проведення основного обробітку ґрунту.

У ході досліджень було поставлено такі завдання:

- провести систематичні спостереження за емісією CO₂ з найбільш поширених ґрунтів, починаючи з часу завершення вегетації зернових культур до періоду відносної стабілізації величин емісії на мінімальному рівні;
- розробити алгоритм моделювання періодів мінімальної емісії CO₂ досліджуваних ґрунтів із встановленням оптимальних інтервалів проведення основного обробітку;
- за результатами польових спостережень на основних ґрунтах та моделювання, встановити значення та часові інтервали мінімальної емісії двоокису вуглецю на дерново-підзолистих зв'язно-піщаних та ясно-сірих опідзолених супіщаних і легкосуглинкових ґрунтах.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проведено у 2016–2018 рр. на найбільш поширених ґрунтах Лівобережного Полісся України. З цією метою було закладено спеціальні моніторингові точки, де після відбору ґрунтових зразків та їх аналізу проводили систематичні польові спостереження за перебігом процесів емісії діоксиду вуглецю.

Господарство ТОВ «Егрес Агро» Куликівського району Чернігівської області, обране для проведення досліджень, знаходиться у добре зволоженої підзоні Полісся України. Ґрунтовий покрив досліджуваної території характеризується винятковою строкатістю і представлений такими ґрунтами: ясно-сірими і сірими опідзоленими супіщаними і легкосуглинковими ґрунтами (>30%), лучними легкосуглинковими (>30%), болотними і торф'янисто-болотними добре розкладеними (>10%), дерновими зв'язно-піщаними легкосуглинковими, дерново-підзолистими зв'язно- і супіщаними (>5%). Домінуючими ґрунтоутворюючими породами на території досліджень є лесовидні відклади і алювії.

Дослідження проводили у ланці чергування культур: кукурудза молочно-воскової стиглості – пшениця озима – ячмінь ярий щорічно у період з середини серпня (13.08 – 15.08) до початку грудня (03.12 – 05.12).

У відібраних з шару 0–30 см зразках у лабораторних умовах за стандартизованими методиками визначали: вміст лужногідролізованого азоту за Корнфільдом, гумусу за Тюрнімом, фосфору та калію за Кірсановим, рН сольовий, ГОСТ 26483 – 85.

Спостереження за емісією CO₂ проводили з періодичністю 1 раз на 7 днів. Замір інтенсивності виділення CO₂ (ECO₂) проводили за раніше оприлюдненою методикою [13–15] у триразовій повторності з часовою експозицією 5 хв. Параметри ізолюючих камер: d = 0,13 м, h = 0,35 м, V = 0,0185731 м³; d = 0,14 м, h = 0,50 м, V = 0,015386 м³. Одночасно з вимірюванням значень емісії фіксували температуру повітря та ґрунту.

Результати досліджень. У структурі ґрунтового покриття Полісся обрані для досліджень ґрунти мають значні площі і серед богарних ґрунтів вважаються фоновими. При цьому, як свідчать результати аналізу, характеризуються відносно невисоким рівнем природної родючості (табл. 1).

**Показники родючості ґрунтів та чергування культур за точками спостережень
за період досліджень 2015 – 2018 рр., шар 0-30см**

Вміст гумусу, %	Показники родючості					Координати точок, десятичні градуси	
	вміст поживних елементів, мг/кг ґрунту			рН _{KCl}	Σ основ, м-екв / 100г	φ	λ
	N-NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O				
1	2	3	4	5	6	7	8
дерново-середньопідзолистий зв'язно-піщаний ґрунт DA*, т. 2							
0,71	66	141	128	4,5	2,9	51,44488889	31,52705556
дерново-середньопідзолистий зв'язно-піщаний ґрунт LV, т. 4							
0,90	71	155	122	4,1	3,1	51,44188889	31,53491667
ясно-сірий опідзолений супіщаний ґрунт LV, т. 3							
1,18	88	159	165	4,2	4,0	51,44830556	31,53255556
ясно-сірий опідзолений піщано-легкосуглинковий ґрунти LV, т. 1							
1,56	99	192	171	5,5	6,1	51,45244444	31,53297222

Примітка: у таблиці та далі по тексту DA* – давній алювій; FG – флювіогляціальні відклади; LV – лесовидні відклади.

Загальновідомо, що динаміка емісії CO₂ з ґрунтів, у тому числі й дерново-підзолистих, на межі теплого (01.05 – 31.10) та холодного (01.11 – 30.04) періодів року узгоджується зі значеннями температури повітря в цей же період [5]. Одночасно зі зниженням температури повітря і ґрунту спостерігається поступове затухання інтенсивності емісії двоокису карбону, яке триває до початку промерзання верхньої частини профілю. У цей час загальна біологічна активність ґрунтів, незалежно від рівня їх родючості, знижується порівняно з вегетаційним періодом [4]. Слід зауважити, що внаслідок глобального потепління час настання повного промерзання верхньої частини профілю ґрунту останніми роками усе частіше зміщується ближче до середини зими [16,19].

Роль абіотичних чинників оточуючого середовища у розкладі органічної речовини та продукуванні двоокису вуглецю ґрунтами протягом досліджуваного періоду помітно трансформуються. Вплив вологості ґрунту на процеси продукування ґрунтом CO₂ за відсутності активно вегетуючої рослинності поступово зменшується. Відбувається погіршення аерації ґрунтів та закономірне уповільнення газообміну між ґрунтом та атмосферою. При цьому роль фізичних процесів та пов'язаних з ними механізмів транспортування газів з ґрунту до атмосфери – впливу градієнтів концентрації та температури закономірно втрачається. Крім цього, коренева система рослин, яка під час вегетації в умовах надмірного зволоження бере безпосередню участь у транспортуванні вуглецю (у вигляді CH₄) до

атмосфери [20], не виконує своїх традиційних транзитних функцій.

Наведені вище особливості формування потоків вуглецю наприкінці вегетації рослин свідчать про загальне уповільнення процесів емісії CO₂ ґрунтами. Саме тому, з метою зниження обсягів втрат C-CO₂ з ґрунтів означений часовий інтервал року доцільно розглядати як найбільш вірогідний період проведення основного зяблевого обробітку ґрунту.

Як правило, у господарствах Полісся восени застосовують напівпаровий обробіток, який включає: поверхнєве луціння стерні дисковими луцильниками відразу після збирання попередника та основний обробіток, який проводять після внесення гною наприкінці осені або на початку весни.

Загальновідомо, що будь-який механічний вплив на ґрунт під час обробітку викликає підсилене продукування CO₂, яке є наслідком різкої зміни його повітряного режиму та закономірним підвищенням біологічної активності. Інтенсивність та тривалість такого підсилення емісії CO₂ залежить від цілої низки чинників: наявності в ґрунті достатньої кількості органічної сировини, температури, вологості, швидкості руху повітряних мас над землею поверхнею та інших. Тому перспектива мінімізації втрат вуглецю ґрунтами без додаткових матеріальних витрат виглядає достатньо привабливою.

Зрозуміло, що доцільність, конкретні терміни, технологічні вимоги для проведення основного обробітку ґрунту залежать від цілої низки чинників: типу ґрунту, сільськогосподарської

культури, природно-кліматичної зони, наявності органічних та мінеральних добрив або меліорантів, технічних засобів тощо. Однак з міркувань сталого функціонування ґрунтів як невід'ємної частини біосфери, встановлення найбільш вдалого для основного обробітку періоду дозволить скоротити невиправдані витрати органічної речовини у вигляді емісії CO₂.

У структурі ґрунтового газового вуглецевого пулу над процесами ризосферного дихання, характерного для періоду вегетації рослин, переважає продукування ґрунтами CO₂, спричинене розкладом органічної речовини. Інтенсивне виділення діоксиду вуглецю ґрунтами у теплом періоді змінюється на мляве його продукування унаслідок закономірного уповільнення біологічних процесів – у холодному. При цьому ґрунт ніби «відпочиває», переходячи у стан, який ми називаємо рекреаційним періодом.

Виходячи з даних про річну динаміку накопичення ґрунтом двоокису вуглецю, рекреаційний період ґрунтів має осінню (I) та весняну (II) частини, які відрізняються між собою особливостями «входження» у зимовий період та «вихід» з нього навесні ґрунту.

Як зазначалося, в зимовий період через погіршення умов аерації в ґрунті відбувається поступове накопичення CO₂, який тимчасово перебуває у законсервованому стані і не може емітувати до атмосфери. Після весняного підвищення температури ґрунту відбувається короткострокове підсилення емісії CO₂ [16, 19], до настання стадії рівноваги, яка характеризується певною стабілізацією його концентрацій у ґрунтовому та атмосферному повітрі. Поступово відновлюються тимчасово порушені у зимовий період механізми газообміну між ґрунтом та атмосферою. Саме в цей час, на нашу думку, починається весняна частина рекреаційного періоду ґрунтів, яка, певним чином, є дзеркальним відображенням осінньої частини з тією різницею, що затухання емісійної активності ґрунту, характерне для пізньої осені, заміщується процесами їх активізації, характерними для початку весни.

Під рекреаційним періодом ґрунту (далі – РПГ) розуміли часові інтервали холодного та теплого періодів року, які відзначаються низьким рівнем інтенсивності емісії CO₂ і можуть тривати до повного промерзання верхньої частини його профілю в осінній частині та їх підсиленням після відтавання з відносною стабілізацією процесів газообміну – у весняній.

Слід зазначити, що в осінній частині РПГ утворення діоксиду вуглецю, який формується за

рахунок ризосферного дихання сільськогосподарських культур, практично припиняється. Ґрунтові мікроорганізми здебільшого беруть участь у процесах розкладу кореневих рослинних решток, що лишилися після вегетації сільськогосподарських культур. При цьому мінералізація стабільної частини органічної речовини ґрунтів також уповільнюється. Загальні обсяги ґрунтової емісії CO₂, порівняно з вегетаційним періодом сільськогосподарських культур, помітно знижуються, що створює сприятливі умови для проведення основного обробітку ґрунту. Зважаючи на нагальну потребу належного наукового обґрунтування способів мінімізації емісії CO₂ ґрунтами, встановлення тривалості та часової приуроченості РПГ набуває особливої значущості.

У результаті проведених спостережень на досліджуваних ґрунтах встановлено особливості емісії діоксиду вуглецю на межі теплого та холодного періодів року (рис. 1). Як свідчать наведені дані, формування емісійних потоків C-CO₂ з ґрунту в цілому узгоджується зі зниженням температури земної поверхні та атмосферного повітря в холодному періоді року й має чітко виражену поліноміальну залежність (див. рис. 1.). Вплив кількості опадів на емісійну активність ґрунтів простежується менш чітко, що пов'язано з нерівномірним їх розподілом у межах періоду досліджень за роками. Отримані на основі щорічних спостережень рівняння використано як вихідні функції для моделювання РПГ.

З метою визначення рекреаційного періоду ґрунтів розроблено алгоритм встановлення інтервалів РПГ «методом дотичної до кривої» та «методом встановлення інтервалів». Особливості моделювання на прикладі осінньої частини РПГ (I) та отримані результати наведено нижче.

На основі проведених спостережень за допомогою програми Excel 2013 побудовано поліноміальну функцію, яка описує лінію тренду:

$$y=f(x). \quad (1)$$

Похідна цієї функції:

$$y'=f'(x) \quad (2)$$

показує швидкість перебігу (зниження інтенсивності) емісії:

Прирівнявши похідну (2) до нуля $f'(x)=0$, отримаємо квадратне рівняння відносно змінної x . Розв'язавши це рівняння, отримаємо два значення змінної x , одне з яких буде точкою мінімуму функції (тобто значення x_0 , при якому емісія дорівнює нулю або близька до нього).

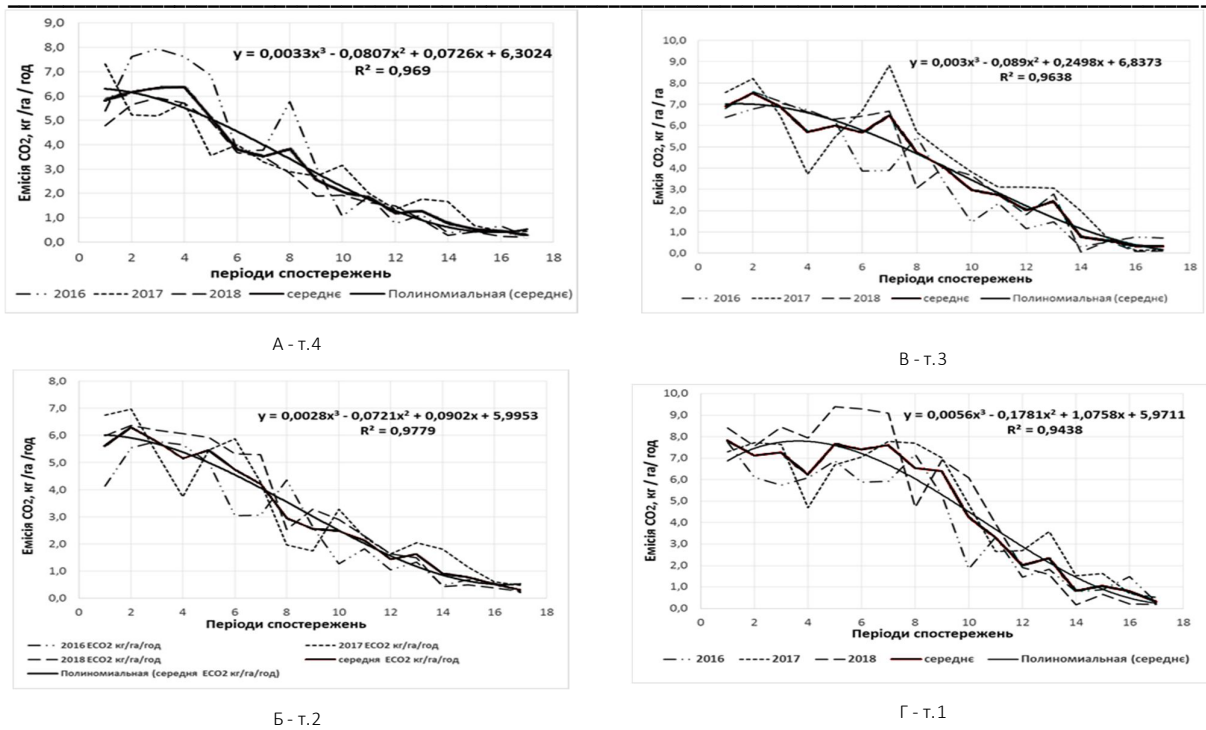


Рис. 1. Динаміка емісії діоксиду вуглецю з дерново-підзолистих та ясно-сірих опідзолених ґрунтів Лівобережного Полісся України у 2016-2018 рр. (період з 13.08 по 05.12): «А» – дерново-середньопідзолистий зв'язно-піщаний ґрунт на LV; «Б» – дерново-середньопідзолистий зв'язно-піщаний ґрунт на DA; «В» - ясно-сірий опідзолений супіщаний ґрунт на LV; «Г» – ясно-сірий опідзолений піщано-легкосуглинковий ґрунти на LV.

Для знаходження значення початку РПП похідну від функції $f(x)$, яка описує лінію тренду, прирівнюємо до значення тангенса обраного кута α . Розв'язавши квадратне рівняння $f'(x)=tg\alpha$, отримаємо два значення змінної x , одне з яких, наприклад x_1 , буде дорівнювати початку періоду, з якого починається РПП.

Далі у рівняння, яке описує лінію тренду $y=f(x)$, підставляємо отримане значення x_1 і знаходимо $y_1=f(x_1)$ – кількість викидів у даний період, яка буде відрізнятися від мінімального значення на обрану величину. Це і буде номер періоду, з якого починається РПП.

Формули розрахунку тривалості РПП мають вигляд:

$$P_k = x_n - x_k, \quad (3)$$

$$D_k = P_k \cdot m, \quad (4)$$

де P_k – тривалість періоду, періодів спостережень; x_n – номер кінця рекреаційного періоду; x_k – номер початку рекреаційного періоду; D_k – тривалість періоду, днів; m – кількість днів у межах періоду спостережень.

Таким чином, проекція точки дотику на вісь Ox є початком рекреаційного періоду ґрунтів.

Завершенням слід вважати час закінчення проведення емісії CO₂, коли спостерігаються максимально низькі значення продукування ґрунтом діоксиду вуглецю або його повне припинення унаслідок промерзання ґрунту від поверхні за профілем (у нашому випадку це значення x_0) (рис. 2).

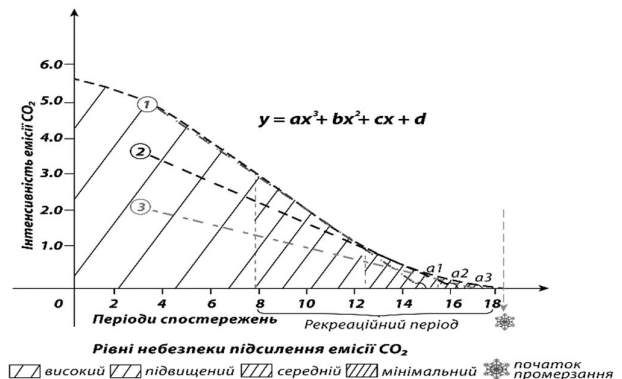


Рис. Схематичне зображення осінньої частини (I) рекреаційного періоду ґрунтів з виділеними в його межах інтервалами з різним рівнем небезпеки підсилення емісії CO₂

Алгоритм вирахування РПП методом «встановлення інтервалів» також передбачає отримання функції (1), яка описує лінію тренду.

Задаємо мінімальні граничні значення викидів у межах дії РПП, які узгоджуються з характерними для даних ґрунтів значеннями емісії CO₂ холодного періоду року:

$$\begin{aligned} 0 < b_1 &\leq k_1, \\ k_1 < b_2 &\leq k_2, \\ \dots\dots\dots \\ k_{(n-1)} &< b_n \leq k_n. \end{aligned} \quad (5)$$

Далі у вихідну функцію $y=f(x)$ для кожного ґрунту почергово підставляємо значення $b_1, b_2 \dots b_n$. Після розв'язку рівняння отримуємо відповідні значення тривалості періоду за заданою величиною викиду. Порядок розрахунку тривалості рекреаційного періоду (у періодах спостережень та днях) ідентичний до порядку, наведеному у попередньому способі (3-4). Зважаючи на необхідність урахування екологічної значимості окремих частин рекреаційного періоду ґрунтів, у його межах виокремлено три його частини з різною небезпекою підсилення емісійних викидів у випадку проведення основного обробітку ґрунту (див. рис. 1).

Обидва запропоновані алгоритми вирахування РПП дали ідентичні результати (табл. 3).

Обрахунок втрат вуглецю у межах окремих інтервалів РПП з різною небезпекою підсилення емісії діоксиду вуглецю проведено з урахуванням їх тривалості. При цьому для обрахунку використано верхні значення інтервалів емісії CO₂ відповідно 1, 1,5, та 2 кг/га/год. Перехід до

середньодобової емісії CO₂ забезпечено шляхом уведення коефіцієнту (0,9) на основі проведених досліджень [3, 8], який враховує ступінь зменшення обсягів емісії у час вимірювання (900 – 1500 год), порівняно із середньодобовими значеннями. Коефіцієнт перерахунку на чистий вуглець 0,2727.

Отримані результати обрахунків свідчать, що тривалість РПП залежить від рівня їх родючості та абіотичних чинників навколишнього середовища, у першу чергу – температури. У більш родючих ґрунтах рекреаційний період є коротким у часі, тоді як у ґрунтах з низьким потенціалом родючості він є більш тривалим.

Втрати органічного вуглецю в межах РПП складають незначну частину від величини загальних втрат. За даними дворічних досліджень Лопеса де Гереню та ін. (2001) [7], річні величини втрат дерново-підзолистого ґрунту агроценозу складали від 2,6 до 4,7 т/га С. Нескладні підрахунки на прикладі дерново-підзолистого ґрунту дають змогу зрозуміти масштаби означених втрат та їх небезпеку. Втрати С від загального обсягу річних викидів CO₂ дерново-підзолистим зв'язно-піщаним ґрунтом для окремих частин РПП з відповідними рівнями небезпеки підсилення емісії становлять, %: мінімальний 3,5-6,3, середній 6,9-12,4, підвищений 11,0-19,9. Втрати вуглецю в означених ґрунтах до настання РПП, залежно від гідротермічних умов року, можуть становити 20-30% і більше.

Таблиця 3

Тривалість осінньої частини (I) рекреаційного періоду досліджуваних ґрунтів та величини втрат вуглецю, 2016-2018 рр.

Номер	Рік досліджень	Інтенсивність емісії, кг /га / год					
		< 1	> 1 до 1,5	>1,5 до 2,0	< 1	> 1 до 1,5	>1,5 до 2,0
		тривалість, днів			втрати С за період, кг/га		
1*	2016	18,1	25,5	31,6	106,6	225,3	372,3
	2017	9,9	15,1	21,1	58,3	133,4	248,6
	2018	22,1	26,4	30,2	130,2	233,3	355,8
	У середньому за 3 роки	14,9	21,1	26,4	87,8	186,4	311,0
2	2016	34,3	42,0	48,5	202,1	371,1	571,4
	2017	14,0	25,8	37,0	82,5	228,0	435,9
	2018	27,4	34,5	40,7	161,4	304,9	479,5
	У середньому за 3 роки	25,3	34,4	42,1	149,0	304,0	496,0
3	2016	29,2	37,1	43,3	172,0	327,8	510,2
	2017	11,1	15,8	20,7	65,4	139,6	243,9
	2018	20,3	27,3	33,4	119,6	241,2	393,5
	У середньому за 3 роки	19,2	26,2	32,6	113,1	231,5	384,1
4	2016	35,5	40,8	45,5	209,1	360,5	536,1
	2017	14,1	25,2	37,7	83,1	222,7	444,2
	2018	33,2	41,3	48,3	195,6	364,9	569,1
	У середньому за 3 роки	30,7	38,7	45,7	180,9	342,0	538,4

Примітка: *номери ґрунтів таблиці відповідають номерам та назвам ґрунтів рис.1.

Незважаючи на те, що підсилення емісії CO₂, спричинене основним обробітком ґрунту, носить тимчасовий характер і може тривати лише декілька днів, наведені дані свідчать про доцільність його проведення у «межах» РПГ.

Висновки та перспективи подальших пошуків у даному напрямі.

Зважаючи на перспективи глобального потепління, необхідно передбачити їх можливі негативні наслідки для ґрунтів. На основі інформації про емісійну активність ґрунтів пропонується виділяти період з низькою інтенсивністю емісії CO₂ як рекреаційний період ґрунтів (РПГ). У межах РПГ пропонується виділяти його осінню (I) та весняну (II) частини. Дослідження початку настання, часу завершення та загальної тривалості окремих частин рекреаційного періоду ґрунтів у межах холодного і теплого періодів року є важливою науковою проблемою.

Показано, що моделювання рекреаційного періоду ґрунтів та використання отриманої інформації під час виробництва рослинницької продукції, окрім скорочення втрат вуглецю, сприяє більш точному встановленню оптимальних термінів проведення основного обробітку ґрунтів. Перспективним напрямом досліджень є встановлення закономірностей перебігу осінньої та весняної частин РПГ різних природно-кліматичних зон України. Достатньо цінними, на нашу думку, є дослідження питань узгодженості настання РПГ з оптимальним часом проведення обробітку ґрунту з позицій землеробської практики.

Таким чином, слід констатувати, що урахування та дотримання у межах РПГ часових інтервалів з різною небезпекою підсилення емісії CO₂ дозволяє не лише мінімізувати втрати C-CO₂, а в тривалій перспективі – забезпечити їх сталі функціонування.

Список використаних джерел:

1. Балуєк С.А., Медведєв В.В., Тараріко О.Г., Греков В.О., Балаєв А.Д. та ін. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України / Мінагрополітики; Центрдержродючість; НААНУ; ННЦ ІГА імені О.Н. Соколовського; НУБІП. 2010. С.14-15.
2. Дубовик В. П., Юрик І. І. Вища математика: навч. посіб. К.: А.С.К., 2006. 648 с.
3. Заключний звіт «Про науково-дослідну роботу розроблення сценаріїв зміни кліматичних умов в Україні на середньо- та довгострокову перспективу з використанням даних глобальних та регіональних моделей»: електрон. версія / УкрГМІ. 2013. URL: <https://uhmi.org.ua/project/rvndr/climate.pdf>.
4. Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский А.С. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / Ин-т физ.-хим. и биол. проблем почвоведения РАН. М.: Наука, 2007. 315с.
5. Курганова И.Н. Эмиссия и баланс диоксида углерода в наземных экосистемах России: автор. дис. на соиск. уч. ст. докт. биол. наук.: спец. 03.00.27 – Почвоведение, 03.00.16 – Экология. Москва, 2010. 50с.
6. Кобак К.И. Биотические компоненты углеродного цикла. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 248 с.
7. Лопес де Герену В.О., Курганова И.Н., Розанова Л.Н., Кудеяров В.Н. Годовая эмиссия диоксида углерода из почв южнотаежной зоны России. *Почвоведение*. 2001. № 9. С. 1045-1059.
8. Макаров Б.Н. Газовый режим почвы. Москва: Агропромиздат, 1988. 105 с.
9. Медведєв В.В., Плиско І.В. Проявление физической деградации в распахиваемых почвах. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2014. № 81. С. 16-28.
10. Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов в Украине за 1990-2010 гг. / Министерство экологии и природных ресурсов Украины. Киев, 2012. 530 с.
11. Паламарчук Р.П., Трофименко П.І., Вишневецький Ф.О., Трофименко Н.В., Борисов Ф.І. Запаси та втрати органічного вуглецю дерново-підзолистими ґрунтами Житомирського Полісся у контексті змін клімату. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Спец. вип. до XI-ї з'їзду ґрунтознавців та агрохіміків України, м. Харків. 17-21 вересня. 2018. С. 220-223.
12. Ромащенко М.І., Тараріко Ю.О. Меліоровані агроєкосистеми. Оцінка та раціональне використання агроресурсного потенціалу України зони зрошення і осушення / НААН України; ІВПІМ; за ред. Ромащенко М.І., Тараріко Ю.О., К., 2017. С. 15.
13. Спосіб визначення інтенсивності емісії газів з ґрунту: Пат. 98998 Україна, МПК G01F 1/76 (2006/01); № у 201413566; заявл. 17.12.2014; дата публікації 12.05.2015, Бюл. № 9.
14. Трофименко П.І., Борисов Ф.І., Трофименко Н.В. Інтенсивність дихання почв Левобережного Полісся України в умовах агроценозу. *Почвоведение и агрохімія*. 2015. № 2 (55). С. 56–65.
15. 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.
16. Трофименко П. І., Трофименко Н. В. Вплив абіотичних чинників на інтенсивність продукування CO₂ ґрунтами перехідної зони центрального полісся в холодний період. *Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва*. 2016. № 1. С. 212–221.
17. Green J. K., Seneviratne S. I., Berg A. M., Findell K. L., Hagemann S., Lawrence D. M., Gentile P. Large influence of soil moisture on long-term terrestrial carbon uptake. *Nature*. volume 565, pages 476–479 (2019).
18. State of the climate in 2017. Special Supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society. Vol. 99, No. 8, August 2018. P. 332.
19. Trofimenko P.I., Trofimenko N. V., Borisov F. I., Zubova O. V. The assessment of the effects of the atmospheric pressure on the intensity of CO₂ emission from Polissya soils in the cold time period. *Mechanization in agriculture and conserving of the resources*. 2016. № 5. P. 20–22.
20. Yagi K. Methane emission from paddy fields. *Bull. Natl. Inst. Agroenviron Sci*. 1997. № 14. С.96-210.

**П. І. Трофименко, В. П. Журавльов, Н. В. Трофименко, С. І. Веремеєнко.
Моделирование и агроэкологическое обоснование рекреационного периода почв для
обеспечения их устойчивого функционирования**

В работе освещены алгоритм моделирования, агроэкологическое обоснование и особенности использования рекреационного периода почв для обеспечения их устойчивого функционирования. На основе информации об эмиссионной активности почв предложено выделять период их функционирования с низкой интенсивностью эмиссии CO₂ как рекреационный период почв (РПП). В рамках РПП, в пределах холодного и теплого периодов года, предложено выделять осеннюю (I) и весеннюю (II) его части. Показано, что учет в пределах РПП временных интервалов с разной опасностью усиления эмиссии CO₂ позволяет минимизировать потери C-CO₂.

Ключевые слова: моделирование, устойчивое функционирование, рекреационный период почв, эмиссия CO₂.

**P. Trofymenko, V. Zhuravlev, N. Trofymenko, S. Veremeyenko. Modeling and
agroecological substantiation of the recreational period of soils to ensure their sustainable
functioning**

The paper illustrates the algorithm of modeling, agroecological substantiation and features of the use of the recreational period of soils to ensure their sustainable functioning. Based on the information on the soil emission activity, it is proposed to allocate a period of their operation with a low CO₂ emission intensity as a recreational soil period (RPS). In the framework of the RPS, during the cold and warm periods of the year, it is proposed to allocate the autumn (I) and spring (II) part thereof. It is shown that taking into account the intervals of the RPS of time intervals with different dangers of increasing CO₂ emissions allows minimizing the losses of C-CO₂.

Keywords: modeling, stable functioning, recreation period of soils, CO₂ emissions.