

Ya. Didukh, I. Vyshenska, U. Alioshkina, S. Gavrylov, O. Navrotska

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF DAMAGES FROM LOSS OF NATURAL HABITATS IN KYIV CITY

The article presents the results of testing of the improved methodology of assessing losses caused by the damages of natural biotopes and their components. The basic parameters of the proposed methodology are biomass and productivity of ecosystem components, expressed in energy terms, taking into account the recovery time of ecosystems. These parameters balance the assessment of loss of stable (with high biomass) and dynamic (high productivity) ecosystem types. We propose to apply such methodology to assess losses for damages of natural biotopes in protected areas.

Keywords: ecological assessment methodology, natural biotopes, ecosystem productivity.

Матеріал надійшов 19.10.2013

УДК 581.5 + 551.583

Халаїм О. О., Вишенська І. Г.

ВІДПОВІДІ ҐРУНТОВИХ ПОТОКІВ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ТРАВ'ЯНИХ УГРУПОВАНЬ ПІВДЕННО-СХІДНОГО КРИМУ НА ЗМІНУ КІЛЬКОСТІ ОПАДІВ

У статті проведено аналіз відповідей ґрунтового дихання ділянок з трав'яною рослинністю на зміну кількості опадів у чотирьох типах експерименту та контролі на дослідному стаціонарі у Карадазькому природному заповіднику. Охарактеризовано добову динаміку дихання ґрунту на контрольних ділянках у червні 2012 р., показано щомісячну динаміку ґрунтового дихання за період березень 2012 р. – липень 2013 р., проведено лінійний багатofакторний регресійний аналіз залежності рівня ґрунтового дихання від кліматичних факторів, наведено розрахунки річної ґрунтової емісії вуглецю у 2012 р.

Ключові слова: дихання ґрунту, трав'яні угруповання, зміна режиму опадів, вуглецевий цикл.

Динаміка ґрунтових потоків вуглекислого газу, пов'язана з дією різноманітних абіотичних та біотичних факторів, є важливою складовою вуглецевого циклу екосистеми. Основним показником, що характеризує інтенсивність вивільнення CO₂ з ґрунту, є так зване «дихання ґрунту». В сучасній науці це поняття має кілька визначень. У найпростішому варіанті «дихання ґрунту» – це «ритмічний повітрообмін між ґрунтом та атмосферою, який відбувається внаслідок розширення та стискання ґрунтового повітря при коливаннях температури або змін атмосферного тиску» [7]. У більш комплексно-

му трактуванні це поняття розглядається як «екосистемно-специфічна величина, що детермінується комплексом біотичних (структурою автотрофного блоку, кількісним і якісним складом ґрунтової біоти) й абіотичних (гідротермічним режимом, фізичними й фізико-хімічними властивостями ґрунтів, тривалістю періоду біотичної активності) факторів» [9]. Таким чином, дихання ґрунту – це показник, що може інтегрально характеризувати як інтенсивність процесів продукції екосистеми (дихання автотрофів), так і деструкційних процесів розкладу (дихання гетеротрофів) [6].

Найширше визначення ґрунтовому диханню дає А. В. Наумов у своїй монографії [5], описуючи його як складне багатоконпонентне природне явище, що проявляється у процесах газообміну між основними компонентами біогеосфери, ґрунтоутворення, трансформації геологічних порід та дисипації енергії, накопиченої у ґрунтовій органічній речовині та біомасі ґрунтоутвірних організмів.

Біотична компонента ґрунтового дихання, як це видно з наведених вище характеристик параметра, є досить вагомою. Підземні органи рослин, дрібні ґрунтові тварини та мікроорганізми є джерелом CO_2 й водночас споживачами кисню. На сьогодні експериментальним шляхом точно виокремити частку кожної функціональної групи біоценозу в загальному потоці вуглекислого газу досить складно [5]. Внесок автотрофного дихання (корені та підземні органи рослин) у загальне дихання ґрунтів під природною рослинністю має широкий діапазон і оцінюється різними вченими від 17 до 90 %; лучні екосистеми характеризуються діапазоном від 17 до 70 % [1; 5; 10].

Ґрунтові мікро- та макроорганізми також можуть мати вагомий частку в емісії CO_2 з ґрунту, але досліджень з оцінки дихання дрібних ґрунтових безхребетних небагато, і тому зазвичай оцінюється тільки загальне гетеротрофне дихання як сума внесків всіх функціональних груп гетеротрофів шляхом вилучення коренів та підземних органів рослин з дослідної ділянки.

Окрім дії біотичних чинників, динаміка ґрунтового дихання зумовлена також численними абіотичними факторами, а саме – коливаннями температури ґрунту й атмосфери, газовою дифузиею між ними, зміною атмосферного тиску, періодичним зволоженням і висушуванням ґрунту. Сумарна дія всіх факторів визначає специфіку добової та сезонної динаміки вуглецевих потоків у ґрунті. Температура та вологість ґрунту прямо чи опосередковано визначають інтенсивність ґрунтового дихання протягом року. Так, температурний та водний режими формують ступінь стійкості рослин та ґрунтових гетеротрофів до кліматичних змін, та, відповідно, зумовлюють певний рівень продукування CO_2 в конкретних гідротермальних умовах [4]. З другого боку, температура та вологість ґрунту впливають на швидкість дифузії CO_2 в ґрунтовому профілі, що є основним шляхом транспорту цього газу в атмосферу. Також ці два фактори діють на стан карбонатної рівноваги ґрунту, зміщення якої може збільшити або зменшити емісію CO_2 , оскільки існує зворотний зв'язок між розчинністю CO_2 у воді та температурою розчину, маса якого і визначає вологість ґрунту [3].

Таким чином, одним із визначальних кліматичних факторів, що впливають на інтенсивність дихання ґрунту, є його вологість, яка, у свою чергу, визначається гідрологічним режимом території та кількістю опадів зокрема. Дослідження впливу режиму зволоження на динаміку ґрунтового дихання є актуальним не тільки в контексті складності виокремлення всіх діючих факторів у системі «мікроклімат-екосистемна відповідь», а й в сучасних умовах кліматичних змін, одним з результатів яких є регіональні коливання кількості та інтенсивності опадів.

Мета нашої роботи – проаналізувати добову й сезонну динаміку ґрунтових потоків вуглекислого газу в умовах експериментальних змін режиму зволоження та оцінити ступінь зв'язку між диханням ґрунту та кліматичними характеристиками дослідного стаціонару.

Об'єкти та методи дослідження

Польові дані збирали на дослідному стаціонарі, де навесні 2011 р. було встановлено систему з перерозподілу природної кількості опадів на 6 рівнях (+60 %, +40 %, +20 %, -20 %, -40 %, -60 %) над експериментальними ділянками (всього 21 ділянка 2x2 м), які представляють, відповідно, 6 типів експерименту та контроль у трьох повторах. У цьому дослідженні з технічних причин проаналізовано 4 типи експерименту: +60 %, +40 %, -20 %, -40 % та контроль.

Стаціонар розташований на території Карадазького природного заповідника (АР Крим), у степовому передгір'ї. Рослинні угруповання на ділянках репрезентують типчакково-різнотравний степ зі значною участю (до 80 %) субсередземноморських ефемерних злаків та представників родини бобових. Ділянки представлені коричневими ґрунтами елювіально-ілювіального типу, що характеризуються важким механічним складом, сильно оглинені, мають повну насиченість обмінними основами (СП=30–45 мг-екв.), високу здатність обміну, нейтральну реакцію (рН=6,8–7,1). Товща гумусовмісного шару сягає 20–30 см, вміст гумусу становить 5–8 % і поступово знижується з глибиною [2].

Досліджувані параметри включали добову динаміку ґрунтових потоків вуглекислого газу (вимірювання 20–21 червня 2012 р.), щомісячну інтенсивність дихання ґрунту (березень – жовтень 2012 р., березень – липень 2013 р.) та допоміжні кліматичні показники (температура та вологість повітря, ґрунту). Добові значення дихання ґрунту вимірювали на трьох контрольних ділянках з періодичністю у 2–4 години (всього

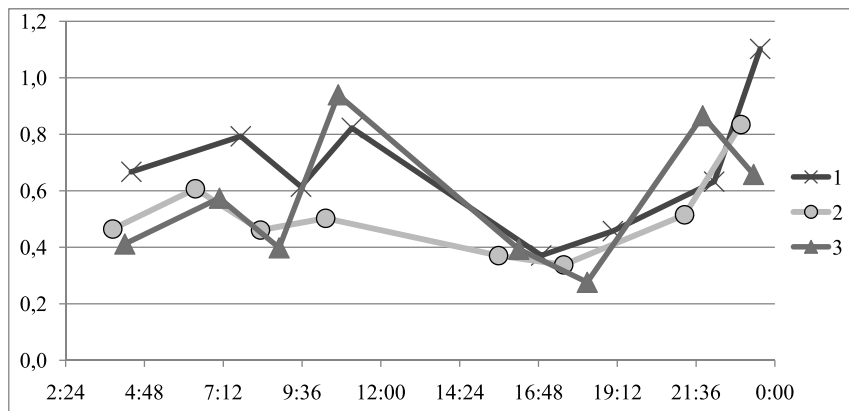


Рис. 1. Добова динаміка дихання ґрунту на контрольних ділянках № 1, 2, 3 у червні 2012 р., мкмоль*м⁻²*с⁻¹ CO₂

вісім вимірювань за добу). Місячні потоки CO₂ вимірювали один раз на місяць, з 09:30 до 15:00, у бездошові дні, в усіх типах експерименту за відомою методикою [11]. Вимірювання тривали 3 хв для кожного параметру; запис концентрації вуглекислого газу у повітрі проводився з частотою 1 проба на секунду.

Річні потоки вуглекислого газу на дослідних ділянках оцінювали шляхом додавання розрахованої кількості CO₂ за часовий період між вимірюваннями до щомісячних значень. Добові потоки CO₂ на контрольних ділянках було використано для коригування оцінки щомісячних даних.

Дихання ґрунту вимірювали камеро-статистичним методом за допомогою замкненої системи для вимірювання концентрації вуглекислого газу у повітрі (Qubit Systems CO650 Plant CO₂ Analysis Package). Для цього на кожній дослідній ділянці було вкопано у ґрунт на глибину 2–4 см пластикову трубу діаметром 10 см і завдовжки 5 см, на яку під час вимірювань встановлювали камеру циліндричної форми діаметром 10,2 см і об'ємом 1 л. Після встановлення камери повітря починало циркулювати зі швидкістю 500 мл/хв у замкненій системі, що складалася з повітряної помпи, ротаметра, інфрачервоного газоаналізатора та сенсора температури й вологості повітря, підключених до портативного комп'ютера. Концентрація CO₂ у системі, як правило, зростала лінійно до момен-

ту насичення, що дозволяє розрахувати швидкість емісії газу з ґрунту. Перерахунок зміни концентрації вуглекислого газу у повітрі проводили зважаючи на температуру повітря під час вимірювань, площу поверхні ґрунту, об'єм камери та атмосферний тиск на день вимірювань [8]. Місячні дані щодо природного рівня опадів та денні значення атмосферного тиску було використано з метеорологічного Інтернет-архіву даних «Met Office» сайту www.rp5.ua, що представляє відомості найближчої до стаціонару метеостанції у смт Курортне Феодосійського району АР Крим.

Статистичну обробку даних проводили з використанням програмного забезпечення SPSS (версія 16.0 для Windows, SPSS Inc., Chicago, IL, USA); достовірність отриманих результатів аналізу брали до уваги на рівні $\leq 0,05$.

Результати та обговорення

Під час вимірювання добової динаміки дихання ґрунту на контрольних ділянках нами спостерігалось підвищення інтенсивності дихання у ранкові (з 07:00 до 12:00) та у вечірні години (з 21:00 до 00:00); найнижчі значення спостерігались після 16:00 (рис. 1). Добові вимірювання потоків вуглекислого газу показали, що емісія CO₂ становила в середньому 54657 мкмоль*м⁻² за добу.

Таблиця 1. Розрахункова емісія вуглецю на період з березня по жовтень 2012 р. та річна за 2012 р. по типах експерименту

Тип експерименту	Емісія вуглецю з березня по жовтень, г*рік ⁻¹ *м ⁻² С	Стандартна похибка	Річна емісія, г*рік ⁻¹ *м ⁻² С	Стандартна похибка	Відхилення річної емісії від контролю, %
-40 %	176,6	3,1	251,69	16,12	-8,61
-20 %	249,34	5,6	288,07	5,47	4,59
Контроль	213,94	10,41	275,42	11,62	0,00
+40 %	249,27	13,31	356,75	28,62	29,53
+60 %	380,37	16,95	474,41	10,18	72,25

Концентрація вуглекислого газу в часовому проміжку з 09:30 до 15:00 у перерахунку на 24 години (1 доба) під час одноразового щомісячного вимірювання становила в середньому 95,55 % від фактичної сумарної добової концентрації за той самий період. Цей відсотковий коефіцієнт дозволив відкоригувати розрахунок кумулятивного річного потоку CO_2 на дослідних ділянках, який базується саме на показниках одноразових щомісячних вимірювань. Так, кількість вуглецю, що було вивільнено в середньому на контрольних ділянках у процесі ґрунтового дихання за березень-жовтень 2012 р., дорівнювала $214 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \text{ С}$. Оскільки на контрольних ділянках у холодну пору року зафіксовано вегетаційну активність певних видів рослин (О. Л. Кузьманенко, неопубліковані дані), найбільш оптимістичним припущенням буде розрахунок річного потоку вуглецю з врахуванням на листопад-лютий значень ґрунтового дихання, аналогічних жовтневим. Виходячи з цього припущення, нами було розраховано річні потоки вуглецю для всіх типів експерименту (табл. 1). Ці дані фактично є дещо завищеними, оскільки середньомісячна температура лютого є від'ємною ($-4,5 \text{ }^\circ\text{C}$) і в цьому місяці, найімовірні-

ше, вивільнення вуглецю відбувалось більш повільними темпами.

Як видно з табл. 1, найбільший ефект у 2012 р. отримано на ділянках із додаванням опадів «+60 %», де вуглецю було вивільнено на 72 % більше, ніж у контролі. Другим за ступенем ефективності є тип експерименту «+40 %»: майже на 30 % більше вуглецю. Цікавим є позитивне відхилення від контролю ділянок «-20 %» із підвищенням вивільнення вуглецю на 4,6 %. У цілому річна динаміка емісії вуглецю показує певну нелінійність реакції вуглецевого циклу екосистеми на зміну кількості опадів.

Щомісячна динаміка дихання ґрунту в усіх типах експерименту за вегетаційний період 2012 р. та частину 2013 р. також показує нелінійність відповідей дихання на зміну кількості опадів (рис. 2). Так, у деякі місяці на контрольних ділянках відмічались найнижчі значення ґрунтового дихання, навіть у порівнянні з «мінусовими» типами експерименту. Вищі значення емісії вуглецю на таких ділянках у весняні місяці можуть фіксуватися частково за рахунок утворення більшої мортмаси внаслідок браку вологи.

Як видно з рис. 2, у вегетаційний період 2012 р. дихання ґрунту також мало два чітко вира-

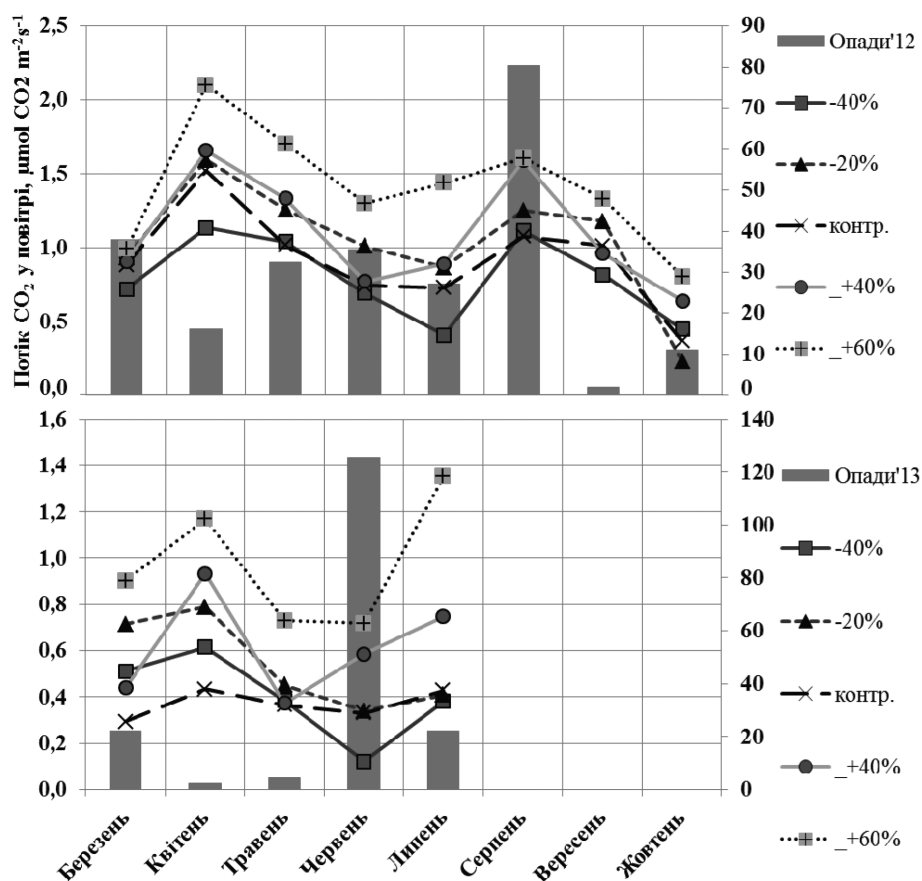


Рис. 2. Щомісячна динаміка дихання ґрунту та середньомісячного рівня опадів (мм) за березень-жовтень 2012 р. та березень-липень 2013 р. у 4 типах експерименту та у контролі

жені піки інтенсивності майже в усіх типах експерименту: у квітні та наприкінці серпня – початку вересня. Обидва піки частково є наслідком як значних опадів попереднього місяця, так і оптимального температурного режиму повітря. Зв'язок дихання ґрунту з місячним рівнем опадів можна побачити й у 2013 р.: так, за весняний період цього року опадів випало майже втричі менше, ніж за аналогічний період 2012 р.; при цьому інтенсивність дихання ґрунту знизилась майже вдвічі порівняно з минулим роком (рис. 3).

Завдяки низькому рівню опадів у весняний період 2013 р., квітневий пік інтенсивності дихання є помітно нижчим порівняно з минулорічним; з другого боку, значна кількість опадів у червні (125,4 мм) спричинило різке підвищення рівня дихання у липні (рис. 2).

З метою перевірки ступеня впливу кліматичних факторів (потенційні предиктори) на інтенсивність дихання ґрунту (залежний параметр) нами було проведено лінійний регресійний аналіз із використанням усього наявного масиву даних (березень

2012 р. – липень 2013 р.). У регресійну модель було включено такі фактори: середньомісячна кількість опадів (мм), температура повітря (°C), температура ґрунту (°C), вологість ґрунту на глибинах 15, 30 та 60 см (у. о.), відносна вологість повітря (%) та атмосферний тиск. Значення факторів брали такі, що були спостережені під час щомісячних вимірювань ґрунтового дихання (окрім періодів опадів). У результаті аналізу виявилось, що найбільш ефективним є варіант моделі, що включав 5 факторів впливу, а саме – кількість опадів, вологість ґрунту на глибині 15 см, температуру повітря, відносну вологість повітря та атмосферний тиск повітря (табл. 2).

Так, коефіцієнт детермінації цієї моделі, за якою оцінюється частка варіації результату за рахунок представлених у моделі факторів у загальній варіації результату, становить $R^2=0,6$. Це означає, що 60 % варіації значень ґрунтового дихання можна пояснити дією зазначених у табл. 2 кліматичних факторів з високим ступенем достовірності ($p < 0,05$).

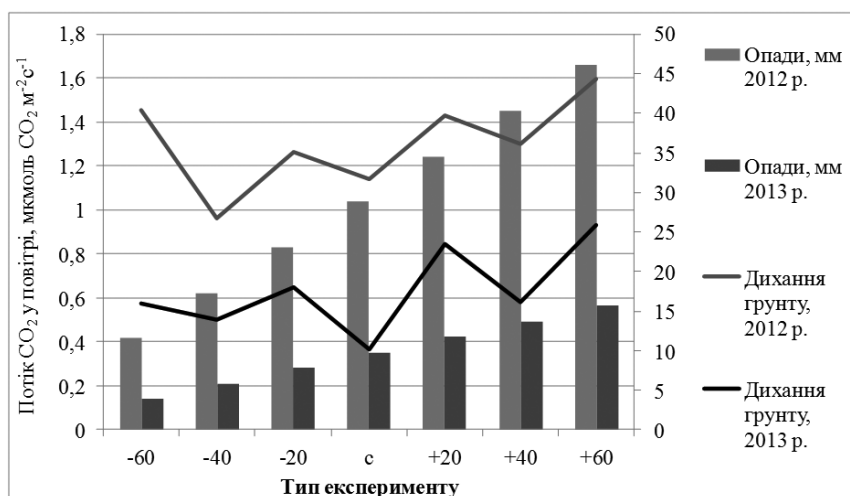


Рис. 3. Порівняння середньої кількості опадів за весняні місяці (березень, квітень, травень) 2012 й 2013 років (мм) із середньою інтенсивністю дихання ґрунту на контрольних ділянках за аналогічний часовий період

Таблиця 2. Коефіцієнти лінійного регресійного рівняння залежності дихання ґрунту від кліматичних параметрів

Фактор впливу	Нестандартизовані коеф.		Стандартизовані коеф.	t	Достовірність
	B	Стандартна похибка	Beta		
Константа	-16,114	5,535		-2,911	0,004
Hsoil 15	0,160	0,012	0,886	13,052	0,000
T air	0,049	0,005	0,973	9,469	0,000
PPT	-0,006	0,001	-0,475	-7,210	0,000
RH air	0,017	0,003	0,483	5,278	0,000
Pressure	0,140	0,055	0,137	2,550	0,012

Примітки: Hsoil 15 – вологість ґрунту (15 см), T air – температура повітря, PPT – кількість опадів, RH air – відносна вологість повітря, Pressure – атмосферний тиск.

У цілому, проведене дослідження засвідчило достовірний зв'язок між диханням ґрунту та кліматичними характеристиками дослідного стаціонару та виявило нелінійний характер сезонної динаміки ґрунтових потоків вуглекислого газу в умовах експериментальних змін режиму зволоження.

Висновки

1. Збільшення природного рівня опадів на 60 % протягом двох років експерименту призвело до збільшення емісії вуглекислого газу (як наслідок сумарного дихання коренів, ґрунтових мікро- та макроорганізмів) приблизно на 72 % порівняно з контрольними ділянками протягом 2012 р. Відповідно, збільшення рівня опадів на 40 % спричинило зростання інтенсивності ґрунтового дихання майже на 30 % порівняно з контролем. Зменшення кількості опадів мало менший ефект: так, на ділянках з типом експерименту «-40 %» було зафіксовано зниження інтенсивності дихання ґрунту на 9 %, тоді як на ділянках «-20 %» відбулось навіть невелике підвищення емісії вуглецю (на 4,6 %) порівняно з контролем.

2. Добова динаміка дихання ґрунту, що було досліджено на контрольних ділянках, показала наявність двох піків: у ранкові (з 07:00 до 12:00) та у вечірні години (з 21:00 до 00:00). Найнижчі значення дихання ґрунту спостерігались після 16:00. Емісія CO₂ в результаті ґрунтового дихання дорівнювала в середньому 54657 мкмоль*м⁻² за добу на контрольних ділянках.

3. У вегетаційний період 2012 р. дихання ґрунту мало два чітко виражені піки інтенсивності майже в усіх типах експерименту: у квітні та наприкінці серпня – початку вересня. Обидва піки можна вважати частково наслідком як значних опадів попереднього місяця, так і оптимального температурного режиму повітря.

4. Створена лінійна багатофакторна регресійна модель залежності рівня ґрунтового дихання від кліматичних факторів показує, що варіація значень дихання ґрунту на 60 % достовірно пояснюється дією середньомісячної кількості опадів, вологості ґрунту на глибині 15 см, температури повітря, відносної вологості повітря та атмосферного тиску повітря під час вимірювань.

Список літератури

1. Вклад дыхания корней в эмиссию CO₂ из почвы / С. А. Благодатский, А. А. Ларионова, И. В. Евдокимов // Дыхание почвы: сборник научных трудов / под. ред. Г. А. Заварзина. – Пушкино : ОНТИ НЦБИ РАН, 1993. – С. 26–32.
2. Дідух Я. П. Реакція трав'яних угруповань на штучну зміну кількості опадів у Карадазькому природному заповіднику: вихідний стан експерименту / Я. П. Дідух, О. Л. Кузьманенко // Український ботанічний журнал. – 2013. – № 1. – С. 3–16.
3. Ларионова А. А. Динамика интенсивности дыхания серой лесной почвы в зависимости от агроэкологических факторов : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.03 – почвоведение / А. А. Ларионова. – М., 1988. – 20 с.
4. Ларионова А. А. Влияние температуры и влажности почвы на эмиссию CO₂ / А. А. Ларионова, Л. Н. Розанова // Дыхание почвы: сборник научных трудов / под. ред. Г. А. Заварзина. – Пушкино : ОНТИ НЦБИ РАН, 1993. – С. 68–75.
5. Наумов А. В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности / А. В. Наумов. – Новосибирск : Изд. СО РАН, 2008. – 208 с.
6. Сморгалов И. А. Почвенное дыхание лесных экосистем в градиентах загрязнения среды выбросами металлургических заводов / И. А. Сморгалов, Е. Л. Воробейчик // Экология. – 2011. – № 6. – С. 429–435.
7. Толковый словарь по почвоведению / под ред. А. А. Роде. – М. : Наука, 1975. – 286 с.
8. Халаїм О. О. Особливості добової динаміки екосистемних потоків вуглецю степових угруповань південно-східного Криму / О. О. Халаїм, І. Г. Вишеньська // Наукові записки НАУКМА. – 2012. – Том 132 : Біологія та екологія. – С. 48–54.
9. Шпаківська І. М. Дихання ґрунту в екосистемах бореально-го ряду на верхній межі лісу Чорногорі (Українські Карпати) : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16 / І. М. Шпаківська / Дніпропетр. нац. ун-т. – Д., 2004. – 20 с.
10. Chou W. W. The sensitivity of annual grassland carbon cycling to the quantity and timing of rainfall / W. W. Chou et al. // Global Change Biology. – 2008. – Vol. 14. – P. 1382–1394.
11. Zhou X. Biomass, Litter, and Soil Respiration in Southern Great Plains, USA / X. Zhou, M. Talley, Q. Y. Luo // Ecosystems. – 2009. – Vol. 12. – P. 1369–1380.

O. Khalaim, I. Vyshenska

RESPONSES OF GRASSLANDS' SOIL RESPIRATION TO ALTERED PRECIPITATION IN SOUTH-EASTERN CRIMEA

Responses of soil respiration to altered precipitation are analyzed for 4 types of experiment and the control plots at the experimental site of Karadag Nature Reserve. The diurnal dynamics of the soil respiration on the control plots in June 2012 is characterized; the monthly dynamics of the soil respiration for March 2012 – July 2013 is shown; the linear multifactor regression analysis is done; the yearly carbon soil emission for 2012 is calculated.

Keywords: soil respiration, grasslands, altered precipitation, carbon cycling.

Матеріал надійшов 25.07.2013