МІНІСТЕРСТВО ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ

На правах рукопису

ХАЛАЇМ ОЛЕКСАНДРА ОЛЕГІВНА

УДК 581.5: 551.583

ОЦІНКА ПОТОКІВ CO_2 У МОДЕЛЬНИХ СТЕПОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ ЗА РІЗНОЇ КІЛЬКОСТІ ОПАДІВ

03.00.16 – екологія

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі екології Національного університету «Києво-Могилянська академія».

Науковий керівник: кандидат біологічних наук, доцент,
Вишенська Ірина Георгіївна,
Національний університет
«Києво-Могилянська академія»,
кафедра екології.

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України
Заіменко Наталія Василівна,
Національний ботанічний сад
ім. М.М. Гришка, директор.

кандидат біологічних наук,
старший науковий співробітник,
Шпаківська Ірина Миронівна,
Інститут екології Карпат НАН України
в.о. завідувача відділу екосистемології.

Захист відбудеться «14» грудня 2017 року о 12-й годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К26.880.02 в Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління за адресою: вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, Україна, 03035.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління за адресою: вул. Митрополита Василя Липківського, 35, к.310, м. Київ.

Автореферат розіслано «14» листопада 2017 року

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.с.-г.н., доцент В. В. Лукіша

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Лучно-степові екосистеми є одними з найбільш чутливих до кліматичних змін (Дідух та ін., 2013; Котенко, 1996; Мельніченко, Трохименко, 2009; Zhang et al., 2015); їм властива висока динамічність, нестійка рівновага, і водночас висока інтенсивність видоутворення (Бабко, 1999; Котенко, 1996; Ткаченко, 2007). Трав'яні екосистеми покривають біля 45% земної поверхні, депонують до 28-37% органічного Карбону і відіграють важливу соціально-економічну роль в суспільстві (Ларионова, 2005; Chou et al., 2008; Saco et al., 2006). Водний стрес істотно впливає на ріст і розвиток трав'янистих рослин і, перш за все, злаків (Коротченко, Фіцайло, 2003; Zaimenko et al., 2014). В сільськогосподарських екосистемах цей вплив можна оцінити за зміною врожайності; натомість у природних та напівприродних екосистемах провести таку оцінку значно складніше, оскільки зміна кількості доступної вологи впливатиме не лише на загальну продуктивність екосистеми, а на її видовий склад.

Головним кліматичним чинником, який визначає структуру та розподіл рослинних угруповань, є гідротермічний режим. Зміни режиму опадів викликають різноманітні зрушення в структурно-функціональній організації екосистем, призводять до інтенсифікації сукцесійних процесів, що вже спостерігається у степах Південної України (Бойченко, 2003; Михайлов, 2014). У кінцевому результаті це відображається на таких параметрах, як первинна продуктивність та інтенсивність засвоєння CO_2 (Качалова та ін., 2014; Niu et al., 2008; Shaw et al., 2002). Дослідження впливу фізико-кліматичних факторів на колообіг CO_2 є актуальною задачею, зважаючи на критичний стан, важливість та уразливість степових екосистем у нестабільних кліматичних умовах сьогодення.

Процеси, що відбуваються під час трансформації потоків CO_2 в степових екосистемах за умов зміни клімату, залишаються здебільшого незрозумілими (Наумов, 2009; Zhou, 2009). Ефекти від зміни рівня та режиму опадів є недостатньо вивченими порівняно з ефектами від штучного підвищення температури повітря і концентрації CO_2 (Chou et al., 2008). Таким чином, дослідження впливу кількості опадів на потоки CO_2 у степових екосистемах є актуальним, оскільки дозволить спрогнозувати зміни в якісному та кількісному складі рослинності, ґрунту та отримати нові дані щодо балансу потоків CO_2 для Півдня України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась в рамках науково-бюджетних тем: «Прогнозування реакції вуглецевого циклу степових екосистем України на зміни кількості опадів», реєстраційний номер в УкрІНТЕІ: 0113U002487 та «Нелінійна реакція степових екосистем України на зміни кількості опадів», реєстраційний номер в УкрІНТЕІ: 0110U007909. До виконання науково-бюджетних тем дисертант залучався як виконавець підрозділів.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи було з'ясувати особливості зміни потоків CO_2 за експериментального перерозподілу кількості опадів у модельних степових екосистемах на прикладі Карадазького природного заповідника. Для досягнення мети поставлено такі ***основні завдання***:

- проаналізувати фізико-кліматичні характеристики та тренди по території дослідження;
- оцінити ступінь впливу фізико-кліматичних факторів на колообіг CO_2 у модельних степових екосистемах;
- з'ясувати вплив експериментального перерозподілу кількості опадів на щомісячні денні значення потоків CO_2 у модельних степових екосистемах за вегетаційний період;
- оцінити добові та сезонні потоки CO_2 і проаналізувати зміни сезонних потоків за умов експериментального перерозподілу кількості опадів у модельних степових екосистемах;
- з'ясувати можливі зміни потоків CO_2 для модельних степових екосистем в умовах зміни клімату.

Об'єкт дослідження – потоки CO_2 у модельних степових екосистемах Карадазького природного заповідника.

Предмет дослідження – вплив кліматичних факторів середовища на потоки CO_2 у модельних степових екосистемах Карадазького природного заповідника.

***Методи дослідження*:** газометричні (камеро-статистичне вимірювання концентрації CO_2 у повітрі робочої зони); метеорологічні (інструментальне вимірювання фізико-кліматичних параметрів середовища); статистичні (методи описової, індуктивної та багатовимірної математичної статистики для аналізу експериментальних даних).

Наукова новизна одержаних результатів. Уперше оцінено інтенсивність емісії та поглинання CO_2 модельними степовими екосистемами Карадазького природного заповідника камерним методом з використанням інфрачервоного газоаналізатора за умов зміни кількості опадів (збільшення та зменшення від природного рівня на 20%, 40% та 60%). Показано, що досліджувані екосистемні та ґрунтові потоки CO_2 нелінійно реагують на зміну кількості опадів, а валова продуктивність монотонно зростає із збільшенням рівня зволоження в межах +/– 40% від природного рівня. Встановлено, що досліджувані модельні степові екосистеми слугують джерелом емісії CO_2 в атмосферу, а дихання ґрунту складає третину від загальної емісії CO_2. Створено науково-методичну основу для подальшої роботи з прогнозування реакції колообігу CO_2 степових екосистем на зміну клімату, а також регресійні моделі для інтерполяції потоків CO_2 у проміжках між фактичними вимірюваннями при розрахунках кумулятивних сезонних потоків CO_2. Уперше проведено методологічну роботу з корекції загальновідомого камерного газометричного методу вимірювань потоків CO_2 для степових екосистем Півдня України: встановлено оптимальні часові рамки для проведення денних вимірювань потоків CO_2 та оптимальну тривалість запису даних.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень рекомендовані для використання у роботі з прогнозування змін динаміки потоків CO_2 для сухих степів Південної України. Результати досліджень використовуються у роботі Біосферного заповіднику «Асканія-Нова» НААН України, Центру аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України, а також під час читання навчальних курсів кафедри екології Національного університету «Києво-Могилянська академія» та Львівського національного університету ім. І.Франка.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійним завершеним науковим дослідженням. Здобувачем особисто виконано експериментальні та ретроспективні дослідження, аналіз, інтерпретацію, статистичне опрацювання та узагальнення отриманих результатів, написання та оформлення тексту дисертаційної роботи. Формулювання плану й завдань досліджень здійснено за допомоги наукового керівника – к.б.н., доц. кафедри екології Національного університету «Києво-Могилянська академія» І. Г. Вишенської. Права співавторів у спільних публікаціях не порушені.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення та результати дисертаційної роботи були викладені й отримали позитивні відгуки на вітчизняних і міжнародних науково-практичних конференціях: XIV Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство», НТУУ «КПІ» (м. Київ, 18 – 22 травня 2011), VI Международная научно-практическая конференция «Заповедники Крыма. Биоразнообразие и охрана природы в азово-черноморском регионе» (м. Симферополь, 20-22 жовтня 2011), 11 наукова конференція молодих учених «Наукові основи збереження біотичної різноманітності» (м. Львів, 24-25 травня 2012 р.), European Vegetation Survey, 21st Workshop, Vienna (Austria), 24–27 May 2012, VI Міжнародна конференція молодих науковців «Біологія: від молекули до біосфери» (м. Харків, 22 - 25 листопада 2011 р.), Climate Extremes and Biogeochemical Cycles 2013, 2 – 5 April 2013, Seefeld, Austria, Міжнародна конференція молодих учених «Актуальні проблеми ботаніки та екології» (Щолкіне, 18-22 червня 2013 р.), Міжнародна конференція молодих учених «Актуальні проблеми ботаніки та екології» (м. Умань, 9–12 вересня 2014 р.)

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 17 наукових праць, з них 7 у вигляді статей у фахових наукових журналах і збірниках, в тому числі таких, що входять у Thomson Scientific Master Journal List, а також у вигляді частини колективної монографії.

Структура та обсяг дисертації. Матеріали роботи викладено на 168 сторінках тексту комп'ютерного набору. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основний текст містить 120 сторінок, 25 таблиць, 38 рисунків; ще 9 таблиць міститься у додатках. Список використаних джерел включає 150 найменувань, з них 97 – іншомовних.

Подяки. Автор щиро вдячна за допомогу, цінні поради та рекомендації, надані при виконанні роботи, члену-кореспонденту НАН України, доктору біологічних наук, професору Я.П. Дідуху; члену-кореспонденту НАН України, доктору біологічних наук, професору Н.В.Заіменко; кандидату біологічних наук О.В. Поліщуку; кандидату сільськогосподарських наук Т.Ю. Бедернічеку; кандидату біологічних наук, доценту І.Г. Вишенській; кандидату біологічних наук, доценту В.І. Карамушці; ст. викладачу О.Л. Качаловій.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

ПОТОКИ CO_2 У СТЕПОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ: ПАРАМЕТРИЗАЦІЯ, ІНФОРМАТИВНІСТЬ, ПРОГНОЗУВАННЯ (аналітичний огляд літератури)

Проаналізовано функціональні особливості та роль степових екосистем у контексті біогеохімічного циклу Карбону (Huang, 2012; Field and Raupach, 2004); оцінено його складові: дихання ґрунту (R_{soil}) та екосистеми (ER), валова продуктивність екосистеми (GEP) та чистий екосистемний обмін (NEE), а також їхній зв'язок з температурою та вологістю (Niu, 2010; Knapp, 2008; Patrick, 2007; Randerson, 2002; Woodwell, 1968). Виявлено, що у степових екосистемах за дефіциту вологи спрацьовує закон екологічного мінімуму, і зміна вологості впливає на потоки CO_2 сильніше, ніж зміна температури (Ткаченко, 2011; Scurlock, 1998; Novick, 2004; Parton, 2012). Проведено огляд сучасних підходів до оцінки впливу кількості опадів на потоків CO_2 у степових екосистемах, обґрунтовано важливість досліджень з моделювання режиму зволоження шляхом експериментального перерозподілу кількості опадів для перевірки та уточнення гіпотези нелінійності відповідей екосистем на зміну клімату (Bachman, 2010; Chou, 2008; Fay, 2003; Knapp, 2002).

ПРИРОДНІ УМОВИ, МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Експериментальний стаціонар з перерозподілу кількості опадів над модельними ділянками степової рослинності розташований у південній частині Карадазького природного заповідника (N 44°54'53.8"N 35°12'17.1"E), с. Курортне, АР Крим. Стаціонар складається з 21 ділянки розміром 2х2 м, що містять конструкції для перерозподілу природних опадів у семи варіантах, кожен варіант у трьох повтореннях: контроль, -20% опадів, +20% опадів, -40% опадів, +40% опадів, -60% опадів, +60% опадів.

Рослинні угруповання стаціонару є перехідними між степами та саваноїдами і належать до асоціації *Eryngio-Stipetum ponticae* Didukh 1983. Видовий склад представлений 82 видами (62 роди і 20 родин). Родини *Fabaceae* (18 видів), *Asteraceae* (14) та *Poaceae* (16) складають 58,5 % флори стаціонару; на більшості ділянок зафіксоване співдомінування саваноїдних (*A. triuncialis, D. villosum*), лучних (*E. repens*), степових (*F. valesiaca*) злаків і *T. chamaedrys.* Співвідношення терофітів до гемікриптофітів є високим, що вказує на те, що дані угруповання ще далекі від клімаксового стану (Дідух, Кузьманенко, 2013). Коричневі ґрунти з елювіально-ілювіальним типом профілю та важким гранулометричним складом є сильно оглиненими, з нейтральною або лужною реакцією (pH=6,8-8); потужність гумусового горизонту сягає 20 - 30 см (Дідух та ін., 2011).

У жовтні 2011р., з березня по жовтень 2012 та 2013 рр. (щомісячно або частіше) було зібрано дані по ряду параметрів, що характеризують потоки CO_2 в екосистемі та абіотичні фактори середовища: загальне дихання ґрунту (R_{soil}), чистий екосистемний обмін (NEE), дихання екосистеми (ER), валову продуктивність екосистеми (GEP), температуру повітря (середньомісячну та на момент вимірювань потоків CO_2), середньомісячну кількість опадів, температуру ґрунту (на глибині 5 та 10 см), вологість ґрунту (на глибині 15, 30 та 60 см), відносну вологість повітря та освітленість. Потоки CO_2 (NEE, ER та R_{soil}) вимірювались камерним методом за допомогою інфрачервоного газоаналізатора і замкненої системи для вимірювання концентрації CO_2 у повітрі (CO650 Plant CO_2 Analysis Package, Qubit Systems), згідно модифікованої автором методики (Халаїм, Вишенська, 2012). GEP визначався як різниця між NEE та ER (Bachman, 2010; Xia, 2009). Потоки CO_2 розраховувалися за формулою (Jasoni, 2005):

$$F_c= (VP_{av})/(RS(T_{av}+273))\times dC/dt \qquad (1)$$

де Fc – потік CO_2 (мкмоль·$м^{-2}$·$с^{-1}$); V – об'єм повітря в системі, включаючи камеру ($м^3$); P_{av} – атмосферний тиск на момент вимірювань (кПа); R – константа ідеального газу (8,314 J·$моль^{-1}K^{-1}$); S – площа поверхні ґрунту накритого камерою ($м^2$); T_{av} – середня температура повітря на період вимірювань (ºC); dC/dt – кут нахилу лінійної апроксимації до графіка зміни концентрацій CO_2 з часом.

Для оцінки континентальності клімату Карадазького природного заповідника використали індекс А. В. Горчинського (Михайлов, 2014). Вміст органічного вуглецю в ґрунті (SOC, %) визначався за методикою Тюріна в модифікації Сімакова (Khalaim, Ivanyk, 2014); для аналізу бралися дані зразків відібраних на контрольних ділянках у пік вегетації (травень-червень) на глибині 0-4 см.

За допомогою результатів щомісячних вимірювань потоків CO_2, а також добової динаміки вивільнення й асиміляції CO_2 екосистемою, було проведено розрахунок сезонних потоків CO_2 по всіх варіантах експерименту шляхом лінійної інтерполяції (Bachman, 2010; Patrick, 2007). Для визначення ступеня впливу абіотичних факторів було застосовано кореляційний та регресійний аналізи. Однофакторний та багатофакторний дисперсійний аналіз було використано для оцінки впливу типу експерименту, місяця збору даних та року досліджень на залежні параметри з одночасним групуванням даних. Додатково до дисперсійного аналізу ми використовували метод контрастів для порівняння значень окремо за варіантами експерименту з додаванням опадів, варіантами експерименту зі зменшенням кількості опадів та контрольних значень. Нормальність розподілу значень аналізованих вибірок для параметрів GEP, NEE, ER досягалась шляхом логарифмування даних. До середніх значень в роботі зазначено стандартні похибки. Достовірність отриманих результатів аналізу бралася до уваги на рівні $\leq 0,05$.

КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ У ПІВДЕННО-СХІДНОМУ КРИМУ: РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ

Аналіз кліматичних трендів, континентальності та омброрежиму для території дослідження. Розраховані значення індексу континентальності за 1920-2010 рр. коливаються від 25 до 64% з середнім значенням 37,8±7,3%, що вказує на високу варіабельність клімату з тяжінням до континентального. Лінійна апроксимація не виявила достовірних трендів щодо зсувів клімату. Розрахунок омброрежиму, який проводився згідно з Екофлора України (2000), показав загальну незначну зміну клімату даної місцевості у бік менш посушливого за рахунок тенденції до збільшення річної кількості опадів. Середнє значення середньорічних температур повітря за 90 років склало 12,11±0,08°С; статистично достовірної тенденції до зміни температур не виявлено. Максимальне й мінімальне значення середньорічних температур складали 14,1°С і 10,5°С, відповідно. Отже, повільне зростання середньорічної кількості опадів на території Карадазького природного заповідника може пояснити пом'якшення дії температурних змін на омброрежим та клімат, який можна охарактеризувати як континентальний із значним впливом морського.

Кліматичні характеристики років дослідження у порівнянні з середньобагаторічними даними. Погодний режим у 2011 – 2013 рр. варіював через різну ситуацію з кількістю опадів протягом вегетаційного періоду на території заповідника (Качалова, 2014), відрізняючись від багаторічних спостережень. Так, посушливі періоди спостерігались у березні 2011 року та грудні 2013 року. 2013 рік був атиповим, з аномально посушливою весною, зливами у червні та другим піком опадів у листопаді. Найбільш приближеним до багаторічної динаміки опадів виявився 2012 рік. 2011 рік характеризувався двома яскраво вираженими піками опадів у квітні та жовтні. Зимовий період 2011-2012 рр. характеризувався нижчими температурами, тоді як січень-лютий 2013 року були значно теплішими ніж у середньому за 1920-2010 рр. Весняний період був теплішим у 2012 та 2013 рр.

Таким чином, обраний період дослідження характеризувався різними за погодними характеристиками роками. Додатково до аналізу ефекту від змін кількості опадів, закладених експериментально, висока варіабельність температури та кількості опадів у 2013 році дозволяє відслідкувати особливості внутрішньосезонних впливів мікрокліматичних характеристик на потоки CO_2 та порівняти їх з результатами аналізу за більш типовий 2012 рік.

Кліматичні прогнози для території Сухого Степу та Криму: можливі зміни місячних потоків CO_2 у степових екосистемах. За даними проекту ENSEMBLES (Hewitt, 2015) та згідно прогнозу Українського гідрометеорологічного інституту МНС та НАН України (Звіт про НДР, 2013), у Південному регіоні України у 2011-2030 рр. прогнозується потепління з квітня, а в 2031-2050 рр. – в усі місяці. У 2011-2030 рр. очікується збільшення кількості опадів тільки у квітні, а у 2031-2050 рр. відносно 1991-2010 рр. – збільшення сум опадів навесні та взимку. Для оцінки можливих змін місячних потоків CO_2 у степових екосистемах внаслідок змін клімату на основі отриманих даних ми розрахували відносні зміни дихання та валової продукції екосистеми за експериментального перерозподілу кількості опадів у місяці зі змінами кількості опадів більш ніж на 15% для періодів 2011-2030 рр. та 2031-2050 рр. Суттєві зміни опадів передбачаються у квітні, серпні та вересні; у квітні очікується зростання кількості опадів на 27-32%. За подібних умов у нашому експерименті зареєстровано зростання ER в середньому на 36% та GEP на 42%. У серпні очікується зменшення кількості опадів на 16-20%. У нашому експерименті за таких умов (варіант «-20%») у 2012 році відбувалось підвищення інтенсивності ER на 14% та GEP – на 5%. У 2013 році, навпаки, відбувалось зниження інтенсивності ER та GEP на 21% та 13%, відповідно.

ВПЛИВ КІЛЬКОСТІ ОПАДІВ НА ПОТОКИ CO_2 У МОДЕЛЬНИХ СТЕПОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ КАРАДАЗЬКОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА

Особливості накопичення дощової вологи у дерновому та гумусовому горизонтах залежно від кількості опадів. Для розуміння природи флуктуацій вологості ґрунту та розподілу дощової вологи у ґрунтових шарах, необхідно враховувати динаміку температури ґрунту та повітря (Гудзь, 2007; Huxman, 2004). За досліджуваний період температура ґрунту на експериментальних ділянках спостерігалася вища на глибині 5 см ніж на 10 см у теплу пору року; у холодну пору тенденція була протилежною. Пікові значення ґрунтових температур приходились на серпень в усі роки спостереження. Впродовж вегетаційного періоду найнижчі температури ґрунту спостерігались у березні. У 2012 році температура повітря мала схожу з температурою ґрунту динаміку змін; у 2013 році температура повітря характеризувалась більш різкими змінами, ніж ґрунтові температури.

Встановлено, що найбільш чутливими показниками проникнення дощової вологи у ґрунт є вологість ґрунту на глибинах 15 і 30 см. Швидкість зростання вологості ґрунту на глибині 15 см після дощів була вищою за швидкість зниження в бездощовий період. Кореляційний аналіз показав найсильніший зв’язок кількості опадів з вологістю ґрунту на глибині 30 см (0,54; $p \leq 0{,}01$).

Вплив мікрокліматичних умов на потоки CO_2 за різної кількості опадів. Зв'язок дихання ґрунту (R_{soil}) з сумарним місячним рівнем опадів яскраво простежується при порівнянні двох різних за кліматичними характеристиками весняних сезонів - 2012 і 2013 року. Так, за весняний період 2013 року опадів випало майже втричі менше, ніж за аналогічний період 2012 року; при цьому інтенсивність дихання ґрунту знизилась майже вдвічі порівняно з минулим роком. У цілому R_{soil} найсильніше корелювало з вологістю ґрунту на глибині 15 см. Лінійний регресійний аналіз з використанням масиву даних за 2012 – 2013 рр. показав, що 43% варіації R_{soil} ($p < 0{,}001$) можна пояснити дією чотирьох абіотичних факторів: вологість ґрунту на глибині 15 см (H_{soil15}), температура повітря (T_{air}), атмосферний тиск (Pressure) та температураґрунту на глибині 5 см (T_{soil5}):

$$R_{soil} = -12{,}6 + 0{,}105 \cdot H_{soil15} + 0{,}04 \cdot T_{air} + 0{,}122 \cdot Pressure - 0{,}018 \cdot T_{soil5} \qquad (2)$$

Результати кореляційного аналізу показали, що валова продуктивність екосистеми (GEP) у 2012 році мала ряд помірних та слабких лінійних зв'язків з абіотичними факторами середовища; у 2013 році ці достовірні зв’язки збереглись, але послабшали майже вдвічі через менш сприятливі погодні умови. Найефективніший варіант регресійної моделі змін GEP (R^2=0,57; $p < 0{,}001$) включав T_{air}, відносну вологість повітря (RH_{air}), H_{soil15}, H_{soil60} та освітленість (Light100, люкс·100):

$$GEP = -1{,}748 + 0{,}017 \cdot T_{air} + 0{,}011 \cdot RH_{air} + 0{,}07 \cdot H_{soil60} + 0{,}031 \cdot H_{soil15} + 0{,}001 \cdot Light100 \qquad (3)$$

У цілому вологість ґрунту виявилась більш релевантним фактором впливу на щомісячні потоки CO_2, ніж середньомісячна кількість опадів.

Фонові добові потоки CO_2. Значення фонових потоків CO_2 оцінювались на контрольних ділянках стаціонару і дали змогу більш повно оцінити динаміку переміщення CO_2 у модельних екосистемах. Емісія CO_2 з ґрунту у 2012 році складала в середньому 54,6 ммоль м$^{-2}$ за добу зі зниженням інтенсивності дихання у ранкові (з 09:00 до 11:00) та у вечірні години (з 17:30 до 19:00) і піком біля 16:00. У 2012 році дихання екосистеми було більш інтенсивним у нічні години (до 06:00 і після 18:00), тоді як у 2013 спостерігався чітко виражений денний пік (з 09:00 до 19:00). Температура ґрунту змінювалась повільніше за температуру повітря; у ранішній час з 05:00 до 08:00 та у вечірні години з 19:00 вона була вищою за температуру повітря на 1,6-7 ºC. NEE, ER та GEP у пік вегетації (травень-червень) мали різний ступінь варіабельності протягом доби та у цілому характеризуються чітким характером добових змін. Найвищі значення GEP в травні та червні припадали на часовий проміжок приблизно з 08:00 до 11:00, а сумарна валова продуктивність екосистеми з 08:00 до 12:00 становила 46,3±2,5% (2012 р.) та 49,5±1,2% (2013 р.) від сумарної продуктивності за світловий період доби на контрольних ділянках. ER та R_{soil} найменше варіювали впродовж доби.

Показано наявність двох піків продуктивності протягом світлового періоду доби та помірних кореляційних зв’язків зі значеннями температури, вологості повітря та освітленості. Найбільш доцільним часовим проміжком для щомісячних вимірювань показників NEE, GEP та ER для степових екосистем Півдня України визначено межі з 08:00 до 12:00 години дня.

Вплив кількості опадів на потоки CO_2 в екосистемі впродовж вегетаційного періоду. Щомісячна динаміка дихання ґрунту по всіх типах експерименту за вегетаційні періоди 2012 та 2013 років показала нелінійність змін у відповідь на зміну кількості опадів. Достовірно максимальні рівні вивільнення CO_2 з ґрунту спостерігались у квітні (1,6 мкмоль $CO_2 \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$), а мінімальні – у жовтні (0,5 мкмоль $CO_2 \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$) по обох роках дослідження. За типом експерименту найбільша емісія CO_2 відбувалась із ділянок «+60%»; найменша – з ділянок «-40%».

Дихання екосистеми (ER) у 2012 році не зазнало достовірного впливу експериментального перерозподілу кількості опадів (1-way ANOVA, p=0,345), а в 2013 році виявлено достовірну залежність від типу експерименту (p=0,002). Аналіз контрастів показав наявність достовірної різниці ER між експериментальними групами зі збільшенням та зменшенням кількості опадів. У 2012 році найбільшу інтенсивність дихання екосистеми було зафіксовано у травні та липні; найменші значення спостерігалися у серпні та жовтні, від 1,7 мкмоль CO_2 м$^{-2}$с$^{-1}$ (рис. 1).

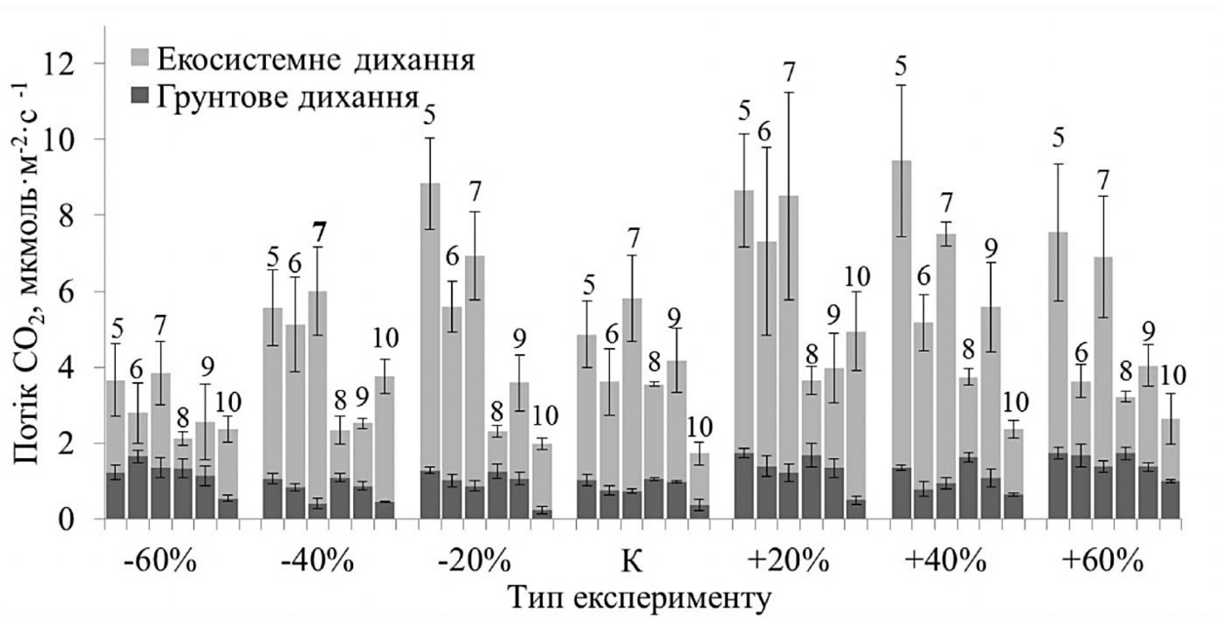

Рис. 1. Дихання екосистеми (сумарно темні та світлі стовбці), та дихання ґрунту (темні стовбці) модельних ділянок у травні – жовтні 2012 р., мкмоль CO_2·м$^{-2}$·с$^{-1}$. Місяці позначено порядковими числами; на графіку зазначені планки стандартних похибок середніх значень.

У 2013 році найнижчі значення дихання екосистеми спостерігались у жовтні на контрольних ділянках (0,126 мкмоль CO_2·м$^{-2}$·с$^{-1}$) та ділянках «-60» (0,144 мкмоль CO_2·м$^{-2}$·с$^{-1}$) (рис. 2). Найвищі значення спостерігалися в пік вегетації на ділянках «+40%» (7,8±2,2 і 4,5±0,5 мкмоль CO_2·м$^{-2}$·с$^{-1}$ за травень та червень, відповідно) і «+60%» (9±2 і 5,3±1,3 мкмоль CO_2 м$^{-2}$с$^{-1}$ за травень та червень, відповідно).

Рис. 2. Дихання екосистеми (сумарно темні та світлі стовбці), та дихання ґрунту (темні стовбці) модельних ділянок у березні – жовтні 2013 р., мкмоль CO_2·м$^{-2}$·с$^{-1}$. Місяці позначено порядковими числами; на графіку зазначені планки стандартних похибок середніх значень.

Емісія CO_2 з екосистеми у 2012 році статистично не відрізнялась за місяцями, але така залежність з’явилась у 2013 році через суттєву різницю кількості середньомісячних опадів впродовж цього вегетаційного періоду.

Чистий екосистемний обмін та валова первинна продуктивність екосистеми мали більш лінійну залежність від кількості опадів. Валова первинна продуктивність у 2012 році по всіх ділянках варіювала від 1,8±0,3 до 6,9±1,1 мкмоль $CO_2 \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$. У 2012 р. найвищими значення продуктивності були у травні на всіх «додатних» ділянках та контролі (рис. 3). На ділянках «-60%» продуктивність екосистеми була вищою в усі місяці порівняно з режимом «-40%». У 2013 році GEP варіювала з 0,26±0,01 до 7,58±2 мкмоль $CO_2 \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$, з найбільшими значеннями у червні та липні, після червневих злив (рис. 3). Лінійне збільшення продуктивності по всьому градієнтові кількості доступної вологи в рамках експериментального перерозподілу опадів спостерігалось тільки в травні.

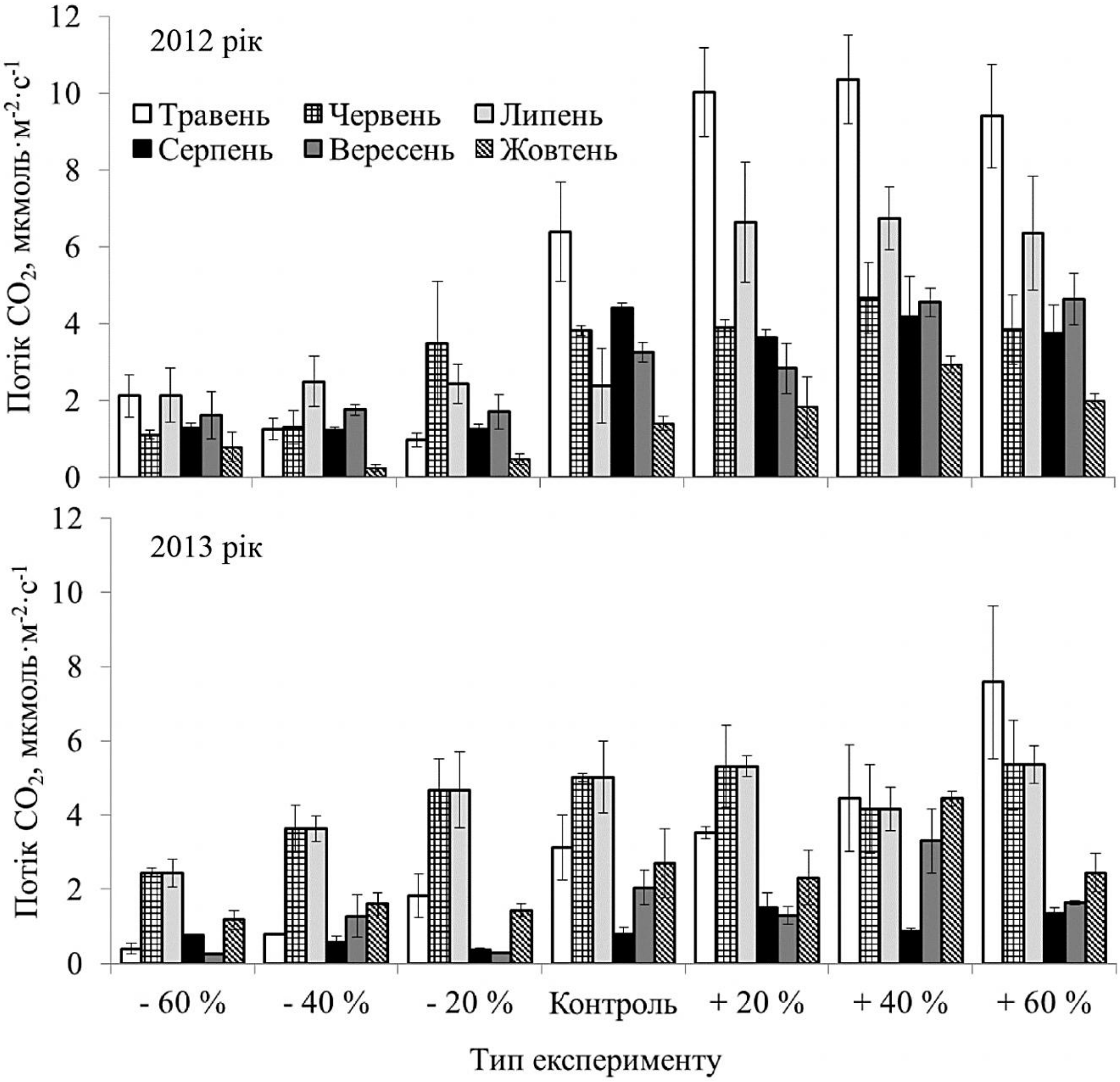

Рис. 3. Динаміка валової продуктивності екосистеми за різних варіантів експерименту (травень-жовтень 2012-2013 рр.). На графіку зазначені планки стандартних похибок середніх значень.

Однофакторний дисперсійний аналіз показав достовірність ($p<0,001$) впливу експериментальних змін на GEP окремо по 2012 та 2013 роках. Середні значення продуктивності на контрольних ділянках мали достовірну відмінність тільки від значень продуктивності на ділянках режиму «-60%» по обох роках дослідження. У 2012 році різниця між «додатніми» та «від'ємними» типами експерименту була більш вираженою. Групування значень валової продуктивності екосистеми за 2012 рік за типами експерименту методом Tukey HSD показало наявність двох груп даних: 1) «від'ємні» типи експерименту; 2) контроль та «додатні» типи експерименту, що підтверджує результати аналізу контрастів. У 2013 році було виділено вже чотири групи даних, серед яких окремо виділялися варіанти «-60%» та «+60%».

У цілому, проведені статистичні аналізи з масивом даних за два роки показали достовірний вплив експериментальних змін та сезонних змін абіотичних факторів середовища на потоки CO_2 досліджуваної екосистеми. Дані щодо GEP мали достовірну різницю в значеннях між експериментальною групою зі зменшенням кількості опадів та збільшенням. R_{soil} та ER відповідали на зміну кількості опадів нелінійно, тоді як GEP зростала лінійно із збільшенням рівня зволоження в діапазоні «-40» – «+40». У варіантах «-60» та «+60» спостерігалось пригнічення всіх потоків CO_2.

Розраховані значення сезонної емісії CO_2 з ґрунтового середовища за різної кількості опадів у 2012-2013 рр. наведено на рис. 4.

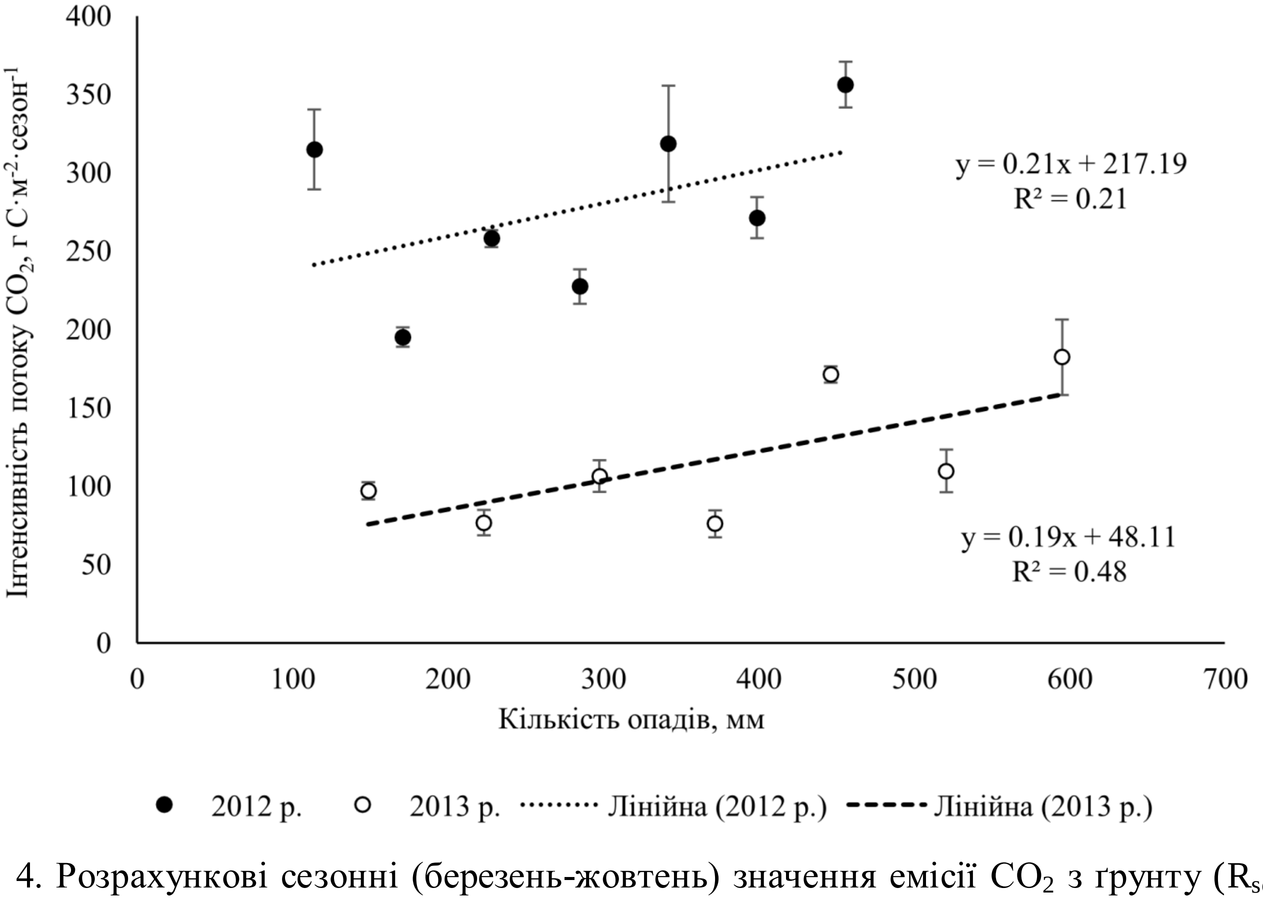

Рис. 4. Розрахункові сезонні (березень-жовтень) значення емісії CO_2 з ґрунту (R_{soil}) за різних значень кількості опадів у 2012-2013 рр. (від найменшого рівня (-60%) до найвищого (+60%)). На графіку наведено результати лінійної апроксимації.

Показники на графіку репрезентують зв'язок потоків CO_2 та експериментально зміненої кількості опадів, від найменшого рівня (-60%) до найвищого (+60%). Залежно від кількості опадів та року, дихання ґрунту варіювало від 76±9 до 356±15 г С·м$^{-2}$·сезон$^{-1}$. У більшості експериментальних варіантів змін кількості опадів спостерігалось збільшення R_{soil}.

Найвищі сезонні значення дихання ґрунту спостерігались на ділянках зі збільшенням кількості опадів на 20% і 60%, відхиляючись від контрольних значень на 40-140% в залежності від типу експерименту та року. Найнижчі значення були на ділянках «-40%» в обох роках (рис. 4). Спостерігається помірна пряма кореляція R_{soil} з кількістю опадів як у 2012, так і в 2013 рр., з коефіцієнтами 0,46 і 0,69, відповідно.

Значення екосистемного дихання варіювали від 286±15 до 1162±92 г С·м$^{-2}$, залежно від кількості опадів та року (рис. 5). Дихання екосистеми у 2012 році було вищим на всіх ділянках порівняно з 2013 роком.

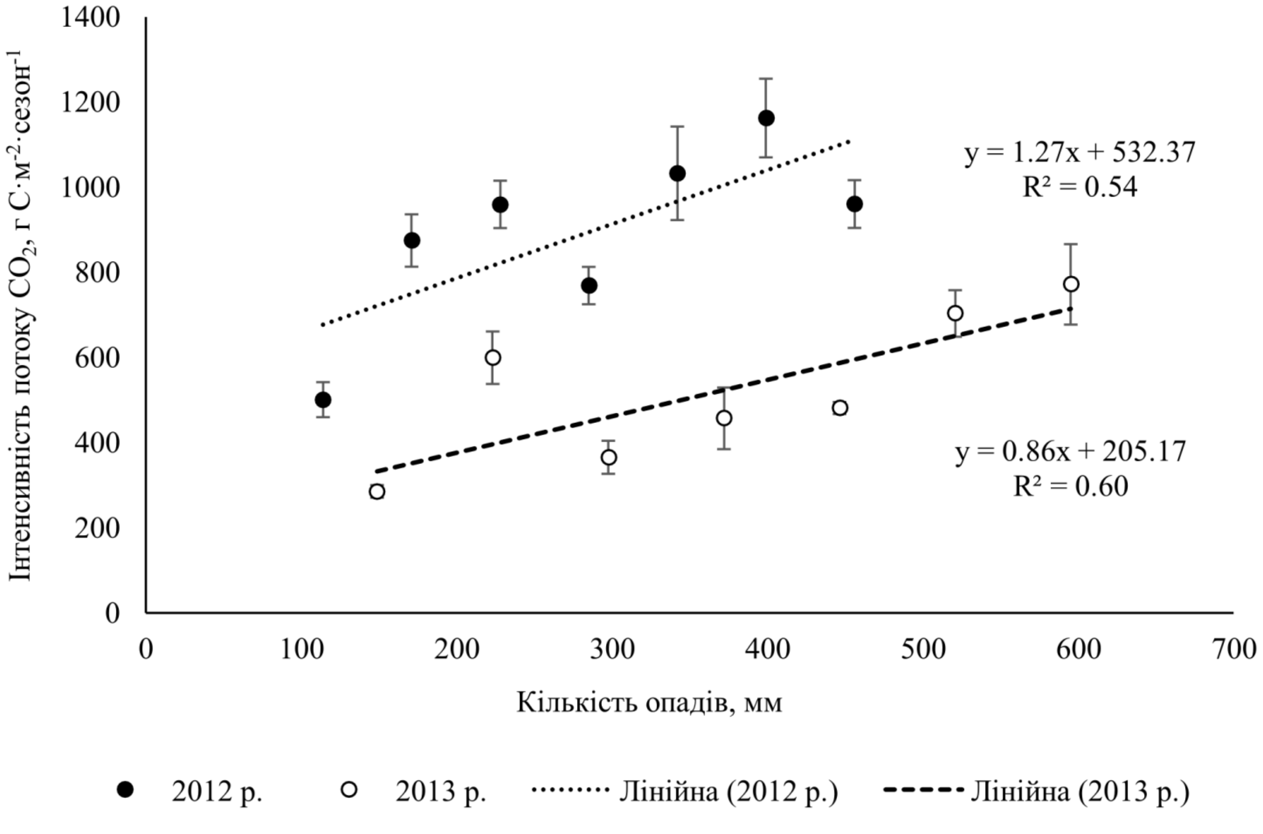

Рис. 5. Розрахункові сезонні (березень-жовтень) значення екосистемного дихання (ER) за різних значень кількості опадів у 2012-2013 рр. На графіку наведено результати лінійної апроксимації.

Значення валової продуктивності екосистеми варіювали від 101±3 до 607±37 г С·м$^{-2}$. Відповідь GEP була найближчою до лінійної (рис. 6): зростала зі зростанням кількості опадів, крім ділянок «+60%» у 2012 році. У 2012 р. на ділянках «+20%» та «+40%» відбулось підвищення GEP на 15,7% та 36,7% відповідно, тоді як у 2013 р. підвищення становило 11,1% та 20,5%, відповідно.

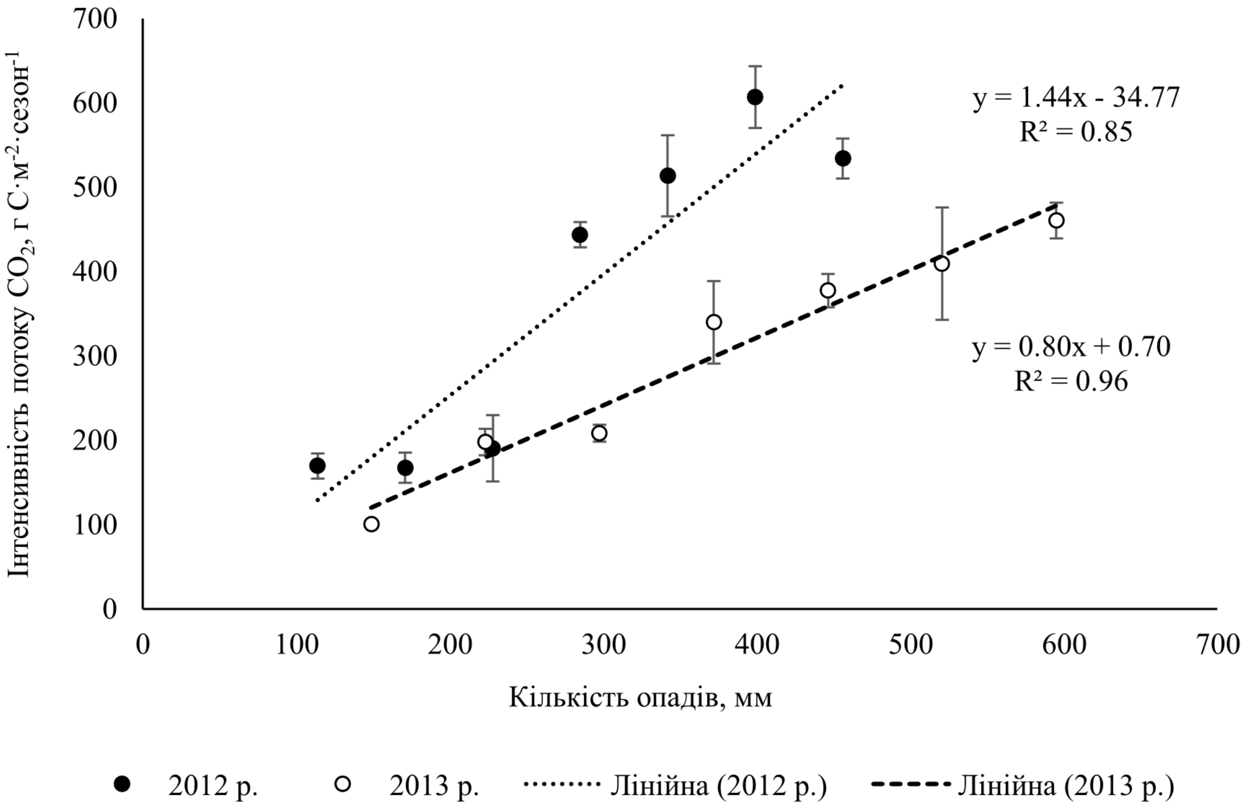

Рис. 6. Розрахункові сезонні (березень-жовтень) значення валової екосистемної продуктивності (GEP) за різних значень кількості опадів (від найменшого рівня експериментального перерозподілу кількості опадів (-60%) до найвищого (+60%) у 2012-2013 рр. На графіку наведено результати лінійної апроксимації.

Спостерігалась сильна пряма кореляція GEP з кількістю опадів, з коефіцієнтами у 2012 та 2013 роках 0,92 та 0,98, відповідно ($p<0{,}001$). Таким чином, найбільш залежним від кількості опадів виявився потік CO_2, зумовлений фотосинтезом, що може свідчити про недостатню природню кількість опадів для цього процесу на дослідженій території і високу ймовірність підвищення інтенсивності фотосинтезу при збільшенні кількості опадів у майбутньому.

Для узагальнення отриманих результатів з оцінки сезонних потоків CO_2 у модельних степових екосистемах Карадазького природного заповіднику, ми сформували схему сезонних потоків CO_2 за даними 2012 / 2013 рр. для контрольних ділянок експериментального стаціонару (рис. 7).

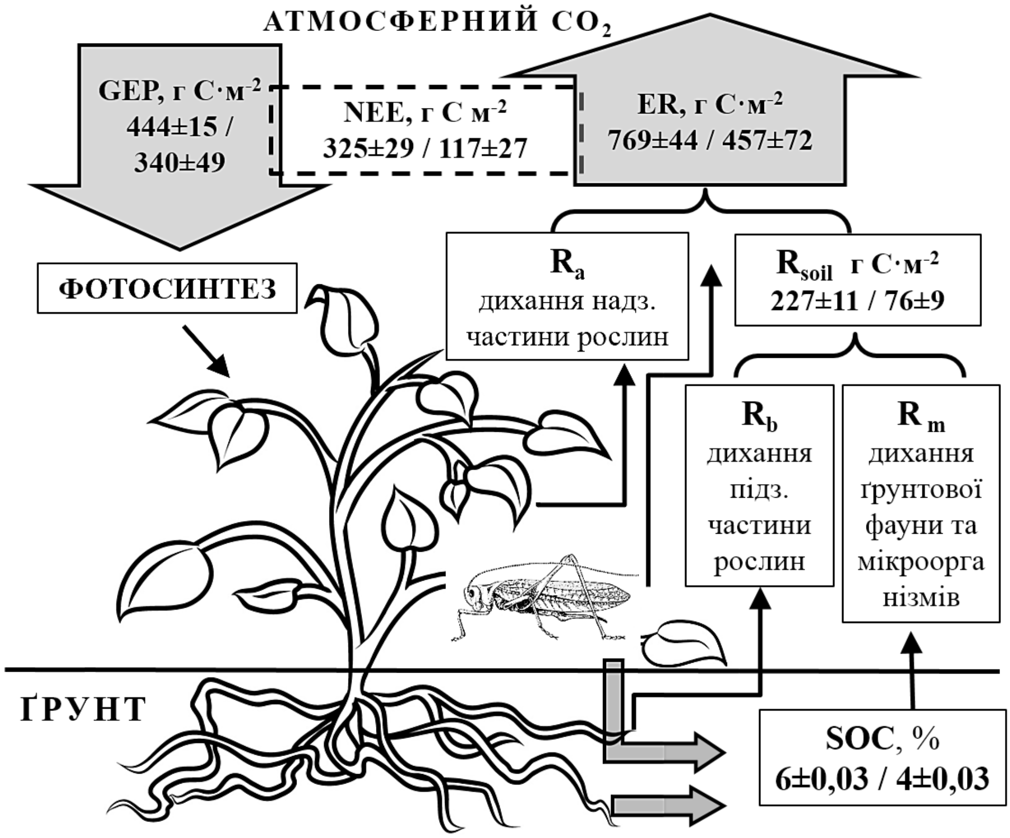

Рис. 7. Схема сезонних потоків CO_2 у модельних степових екосистемах Карадазького природного заповіднику (наведено дані за 2012 / 2013 рр. із зазначенням стандартної похибки середнього)

Порівняння значень сезонних потоків CO_2 за 2012-2013 рр. показує вплив збільшення часового проміжку між дощами та їх інтенсивності у 2013 році порівняно з 2012, що призвело до загального зниження емісії CO_2 з ґрунту та екосистеми. Інтенсивність дихання екосистеми впала на 40%, а дихання ґрунту – на 67%. Частка ґрунтового дихання в екосистемному також зменшилась з 30% у 2012 році до 17% у 2013 році. Валова продуктивність екосистеми у березні-жовтні 2013 року знизилась на чверть порівняно з попереднім роком. Це підтверджує висновки аналогічних досліджень (Bachman et al., 2010; Chou et al., 2008; Fay et al., 2003; Gifford, 1994; Niu et al., 2004) щодо суттєвого зниження функціональної активності трав’яних екосистем за умов зростання інтенсивності опадів та одночасного збільшення проміжків між ними, навіть за збереження середньомісячної кількості опадів на тому ж рівні.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі оцінено вплив режиму зволоження на потоки CO_2 у модельних степових екосистемах Карадазького природного заповідника. Аналіз та узагальнення результатів досліджень дають змогу зробити такі висновки:

1. Клімат території дослідження є мезоаридофітним і характеризується високою варіабельністю із тяжінням до континентального; індекс континентальності за 1920-2010 рр. становив 25 – 64%, омброрежим: -970 до -163 мм. Серед років дослідження (2011-2013) найбільш наближеним до середньобагаторічної (1920-2010) динаміки опадів виявився 2012 рік і найбільш атиповим – 2013 рік, який характеризувався аномально посушливою весною, сильними зливами у червні та другим піком опадів у листопаді.
2. Дослідження зв'язку змін вологості ґрунту на різних глибинах із добовою кількістю опадів показало, що найбільш чутливим показником, який демонструє проникнення дощової вологи у ґрунт, є вологість ґрунту на глибинах 15 і 30 см: будь-які, навіть незначні, коливання у щоденній кількості опадів призводять до суттєвої зміни кількості ґрунтової вологи на глибині 15 см. Найсильніший лінійний зв'язок з кількістю опадів був властивий показнику вологості ґрунту на глибині 30 см: саме цей параметр можна вважати найбільш чутливим показником вологості ґрунтових шарів.
3. Дихання ґрунту та екосистеми нелінійно реагують на зміну кількості опадів. Натомість валова продуктивність екосистеми за зміни кількості опадів в межах +/–40% від природного рівня монотонно зростає із збільшенням рівня зволоження. 43% варіації значень дихання ґрунту у 2012-2013 рр. пояснюється дією вологості ґрунту на глибині 15 см, температурою повітря (яка змінювалась за період дослідження в діапазоні від -3°C до 41 °C), атмосферним тиском та температурою ґрунту на глибині 5 см на момент вимірювань ($p<0,05$). 57% варіації значень валової продуктивності екосистеми зумовлюється дією температури і відносної вологості повітря, освітленості, вологості ґрунту на глибинах 15 та 60 см ($p<0,05$).
4. Інтенсивність потоку CO_2 з поверхні ґрунту в атмосферу у вегетаційні періоди 2012-2013 рр. була найвищою у квітні (1,6 мкмоль CO_2 $м^{-2}с^{-1}$), а найнижчою – у жовтні (0,5 мкмоль CO_2 $м^{-2}с^{-1}$) , $p<0,001$. За типами експерименту найбільша емісія CO_2 з поверхні ґрунту властива ділянкам зі збільшенням кількості опадів на 60%, а найменша – при зменшенні кількості опадів на 40%. Дихання екосистеми у 2012 році статистично не відрізнялось за місяцями (1-way ANOVA, $p=0,345$), але така відмінність з'явилась у 2013 році ($p=0,002$) через помісячну нерівномірність розподілу опадів.
5. Добові потоки CO_2 у пік вегетації характеризуються різним ступенем варіабельності. Виявлено чітко виражену добову періодичність асиміляції CO_2 екосистемою: сумарна валова продуктивність із 08:00 до 12:00 становила 46,3±2,5% (2012) та 49,5±1,2% (2013) від сумарної продуктивності за світловий період доби (05:00 - 21:00), що дозволяє рекомендувати цей період як

оптимальний для вимірювання потоків CO_2 у степових екосистемах Півдня України.

6. Упродовж вегетаційного періоду за будь-яких рівнів опадів досліджувані степові екосистеми були джерелом емісії CO_2 в атмосферу. За 2012-2013 рр. розрахункові сезонні (березень-жовтень) значення валової продуктивності екосистеми варіювали в межах від 101±3 до 607±37 г С $м^{-2}$; дихання ґрунту змінювалось від 76±9 до 356±15 г С $м^{-2}$, а дихання екосистеми – від 286±15 до 1162±92 г С $м^{-2}$.
7. Встановлено, що сезонні потоки CO_2 залежать не тільки від зміни кількості опадів, а й від збільшення часового проміжку між дощами та їхньої інтенсивності. За весняний період 2013 року опадів випало майже втричі менше, ніж за аналогічний період 2012 року; при цьому інтенсивність дихання ґрунту знизилась майже вдвічі порівняно з минулим роком, а кореляційні зв'язки валової продуктивності екосистеми з абіотичними факторами середовища послабшали вдвічі.
8. Порівняльний аналіз кліматичних прогнозів проекту ENSEMBLES та Українського гідрометеорологічного інституту МНС та НАН України показав, що до 2030 рр. для Півдня України очікуються достовірні збільшення місячних сум опадів максимально на 27-32% для квітня. За подібних умов у нашому експерименті, тобто за збільшення кількості опадів на 20% та 40%, встановлено зростання інтенсивності дихання екосистеми в середньому на 36% та валової продуктивності на 42%.

НАУКОВІ ПРАЦІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Дідух Я.П. Відповіді трав'яних угруповань Південно-Східного Криму (Карадазький природний заповідник) щодо зміни кількості опадів на початкових стадіях експерименту / Я.П. Дідух, І.Г. Вишенська, **О.О. Халаїм**, О.Л. Качалова, В.О. Лапченко, О.В. Лапченко, О.Л. Заєць, В.В. Іваник // 100 лет Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского: сборник научных трудов / Ред. А.В. Гаевская, А.Л. Морозова. – Симферополь, 2015. – С. 254-270.
2. Дідух Я.П. Реакція карбонового циклу степових угруповань на зміни рівня опадів: стан досліджень та перспективи дослідного стаціонара у Південно-східному Криму / Я.П. Дідух, **О.О. Халаїм**, І.Г. Вишенська // Наукові записки НаУКМА. — Т. 119. Біологія та екологія. — К. : «КМ Академия», 2011. — С. 46–51.
3. Дідух Я.П. Міжнародний проект з дослідження реакції степових угруповань Південно-східного Криму на зміну кількості опадів / Я.П. Дідух, І.Г. Вишенська, **О.О. Халаїм**, О.Л. Кузьманенко // Материалы VI Международной науч.-практ. конф. «Заповедники Крыма. Биоразнообразие и охрана природы в Азово-Черноморском регионе» (20 - 22 жовтня 2011 р., м. Сімферополь), 2011. - С. 46-49.
4. Лялько В.І. Парниковий ефект і зміни клімату в Україні – оцінки та наслідки (Розділ 2) Експериментальне визначення стоку (абсорбції рослинами) CO_2 для

основних агрокультур України / В.І. Лялько, **О.О. Халаїм**, О.І. Сахацький, Г.М. Жолобак, М.В. Ваколюк, С.С. Дугін // Монографія (Відп. ред. академік НАН України В.І. Лялько), К.: «Наукова думка», 2015. – С. 21-28.

5. Поліщук О.В. Вплив змін режиму опадів на сезонні потоки Карбону у ксерофітних трав'яних екосистемах Південно-Східного Криму / О.В. Поліщук, **О.О. Халаїм** // Наукові основи збереження біотичної різноманітності. – Львів, 2016. – Т. 7(14), № 1. – С. 53-64. – ISSN 2220-3087.
6. **Халаїм О.О.** Валова продуктивність трав'яних угруповань Карадазького природного заповідника під впливом змін кількості опадів: динаміка 2012–2013 рр. / О.О. Халаїм // Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія.– К. : «КМ Академия». – 2014. – Т. 158. – С. 65-70.
7. **Халаїм О.О.** Дослідження динаміки вуглецевого циклу степових угруповань південно-східного Криму в умовах штучної модифікації рівня опадів / О.О. Халаїм // Матеріали VI Міжнародної конференції молодих науковців «Біологія: від молекули до біосфери» (22 - 25 листопада 2011 р., м. Харків). – Харків, 2011. – С. 532-533.
8. **Халаїм О.О.** Реакція вуглецевого циклу степових екосистем на зміну кількості опадів / О.О. Халаїм, І.Г. Вишенська // Збірка тез доповідей на XIV Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство» (18 – 22 травня 2011 р., м. Київ). – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – С. 305-306.
9. **Халаїм О.О**. Прогностичне моделювання динаміки чистої продуктивності степової зони України під впливом змін клімату: перспективи використання математичних моделей / О.О. Халаїм, С.О. Бєляков // Збірник наукових праць 13 Міжнародної науково - практичної конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (м. Київ, Пуща-Водиця, 29 вересня - 3 жовтня 2014 р.). – Київ, 2014. – С. 216-222.
10. **Халаїм О.О.** Відповіді ґрунтових потоків вуглекислого газу трав'яних угруповань Південно-східного Криму на зміну кількості опадів / О.О. Халаїм, І.Г. Вишенська // Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. – К. : «КМ Академия», 2013. – Т. 145. – С. 62–67.
11. **Халаїм О.О.** Вимірювання ґрунтового дихання степових угруповань Південно-Східного Криму в умовах моделювання різних режимів зволоження / О.О. Халаїм, І.Г. Вишенська // Матеріали 11ї наукової конференції молодих учених «Наукові основи збереження біотичної різноманітності» (24-25 травня 2012 р., м. Львів). – Львів, 2012. – С. 223-224.
12. **Халаїм О.О.** Особливості добової динаміки екосистемних потоків вуглецю степових угруповань південно-східного Криму / О.О. Халаїм, І.Г. Вишенська // Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. Том 132. – Київ: НаУКМА, 2012. – С. 48–54.
13. **Халаїм О.** Special characteristics of grassland carbon cycling in south-eastern Crimea under altered precipitation in 2012 / О. Халаїм, В. Іваник // Актуальні

проблеми ботаніки та екології. Матеріали міжнародної конференції молодих учених (Щолкіне, 18-22 червня 2013р.). – К.: Фітосоціоцентр, 2013. – 355 с.

14. **Khalaim O.** Dynamics of soil organic matter and respiration under altered precipitation in Karadag Nature Reserve in 2012-2013 / O. Khalaim, V. Ivanyk // Актуальні проблеми ботаніки та екології. Матеріали міжнародної конференції молодих учених (м.Умань, 09-12 вересня 2014р.). – Умань: Вид. «Сочінський», 2014. – С. 146-147.
15. **Khalaim O.** Dynamics of gross productivity and respiration of grasslands in south-eastern Crimea under altered precipitation / O. Khalaim, I. Vyshenska // Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. Серія: біологія, Вип. 20, №1100. – Харків, 2014. – С. 371-376.
16. Didukh Y. Steppe ecosystem response to manipulative alteration of precipitation levels / Y. Didukh, O. Kuzmanenko, I. Vyshenska, **O. Khalaim,** Y. Luo // European Vegetation Survey 21st Workshop, Vienna (Austria), 2012. – P.86.
17. Didukh Y. Grassland Responses to Altered Precipitation in Southern Ukraine: First Results from a New Experimental Site / Yakiv Didukh, Iryna Vyshenska, **Oleksandra Khalaim**, Olga Kuzmanenko, Valeria Ivanyk, Olena Zaiets, Yiqi Luo // Proceedings of Climate Extremes and Biogeochemical Cycles in the Terrestrial Biosphere: Impacts and Feedbacks across Scales. –Seefeld, Austria, 2013. – P.20.

АНОТАЦІЯ

Халаїм О.О. Оцінка потоків CO_2 у модельних степових екосистемах за різної кількості опадів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 03.00.16 «Екологія». – Національний університет «Києво-Могилянська академія», Київ, 2017.

У роботі проведено оцінку інтенсивності емісії та поглинання CO_2 модельними степовими екосистемами Карадазького природного заповідника за умов зміни кількості опадів (збільшення та зменшення природного рівня опадів на 20%, 40% та 60%) камерним методом з використанням інфрачервоного газоаналізатора. Показано, що досліджувані екосистемні та ґрунтові потоки CO_2 нелінійно реагують на зміну кількості опадів, а валова продуктивність монотонно зростає із збільшенням рівня зволоження в межах +/–40% від природного рівня. Встановлено, що досліджувані модельні степові екосистеми слугують джерелом емісії CO_2 в атмосферу, а дихання ґрунту складає третину від загальної емісії CO_2 для досліджуваних екосистем. Встановлено, що сезонні потоки CO_2 залежать не тільки від зміни кількості опадів, а й від збільшення часового проміжку між дощами та їхньої інтенсивності. Створено науково-методичну основу для подальшої роботи з прогнозування реакції колообігу CO_2 степових екосистем на зміну клімату, а також регресійні моделі для інтерполяції потоків CO_2 у проміжках між фактичними вимірюваннями при розрахунках кумулятивних сезонних потоків CO_2. Проведено методологічну роботу з корекції загальновідомого камерного газометричного методу вимірювань потоків CO_2 для степових екосистем Півдня України:

встановлено оптимальні часові рамки для проведення денних вимірювань потоків CO_2 та оптимальну тривалість запису даних.

Ключові слова: потоки CO_2, модельні степові екосистеми, зміна кількості опадів, валова продуктивність екосистеми, чистий екосистемний обмін, дихання екосистеми, дихання ґрунту.

АННОТАЦИЯ

Халаим А.О. Оценка потоков CO_2 в модельных степных экосистемах при разном количестве осадков. - Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.16 – «Экология». – Национальный университет «Киево-Могилянская академия», Киев, 2017.

В работе проведена оценка интенсивности эмиссии и поглощения CO_2 модельными степными экосистемами Карадагского природного заповедника в условиях изменения количества осадков (увеличение и уменьшение естественного уровня осадков на 20%, 40% и 60%) камерным методом с использованием инфракрасного газоанализатора. Показано, что исследуемые экосистемные и грунтовые потоки CO_2 нелинейно реагируют на изменение количества осадков, а валовая производительность монотонно возрастает с увеличением уровня увлажнения в пределах +/- 40% от естественного уровня. Установлено, что исследуемые модельные степные экосистемы служат источником эмиссии CO_2 в атмосферу, а дыхание почвы составляет одну треть от общей эмиссии CO_2 для исследуемых экосистем. Установлено, что сезонные потоки CO_2 зависят не только от изменения количества осадков, но и от увеличения временного промежутка между дождями и их интенсивности. Создана научно-методическая основа для дальнейшей работы по прогнозированию реакции цикла CO_2 степных экосистем на изменение климата, а также регрессионные модели для интерполяции потоков CO_2 в промежутках между фактическими измерениями при расчетах кумулятивных сезонных потоков CO_2. Проведено методологическую работу по коррекции общеизвестного камерного газометрического метода измерений потоков CO_2 для степных экосистем юга Украины: установлены оптимальные временные рамки для проведения дневных измерений потоков CO_2 и оптимальное время записи данных.

Ключевые слова: потоки CO_2, модельные степные экосистемы, изменение количества осадков, валовая продуктивность экосистемы, чистый экосистемный обмен, дыхание экосистемы, дыхание почвы.

SUMMARY

Khalaim O.O. Estimation of CO_2 fluxes in model steppe ecosystems under altered precipitation. - Manuscript.

Thesis for a candidate degree of biological sciences (doctor of philosophy) on speciality 03.00.16 “Ecology”. – National University of Kyiv-Mohyla Academy, Kyiv, 2017.

In the thesis the intensity of emission and absorption of CO_2 by model steppe ecosystems of the Karadag Nature Reserve under altered precipitation (increasing and decreasing the natural rainfall level by 20%, 40%, and 60%) has been estimated by the chamber method with the use of an infrared gas analyzer. It has been shown that the studied ecosystem and soil CO_2 fluxes react nonlinearly to altered precipitation, while gross productivity monotonically increases with an increase in the humidity level within +/- 40% of the natural level. It has been found that the studied model steppe ecosystems serve as a source of CO_2 emissions, and the soil respiration is one-third of the total CO_2 emissions. It has been found that seasonal fluxes of CO_2 depend not only on the amount of precipitation but also on the increase of the time interval between the rains and their intensity. A scientific and methodological basis for further work on forecasting the reaction of carbon cycling of steppe ecosystems to climate change has been developed. For the first time a methodological work was done on correction of the well-known chamber gasometric method of measurement of CO_2 fluxes for steppe ecosystems in the South of Ukraine: the optimal time frames for daytime measurements of CO_2 fluxes and the optimal duration of data recording were established.

Key words: CO_2 fluxes, model steppe ecosystems, carbon cycling, altered precipitation, gross ecosystem productivity, net ecosystem exchange, ecosystem respiration, soil respiration.