УДК 581.5 + 551.583

Дідух Я. П., Халаїм О. О., Вишенська І. Г.

РЕАКЦІЯ ВУГЛЕЦЕВОГО ЦИКЛУ СТЕПОВИХ УГРУПОВАНЬ НА ЗМІНИ РІВНЯ ОПАДІВ: СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДНОГО СТАЦІОНАРА У ПІВДЕННО-СХІДНОМУ КРИМУ [1]

У статті коротко проаналізовано світові дослідження з питань вивчення реакції складових вуглецевого циклу степово-лучних угруповань на зміни режиму (кількість, частота та інтенсивність) опадів. Обґрунтовано необхідність експериментального підтвердження гіпотези нелінійності відповідей вуглецевого циклу екосистем на зміну кількості опадів. Описано експериментальне дослідження зі штучного розподілення опадів на шести рівнях (+/– 20, 40, 60 % та контроль), розпочате у Карадазькому природному заповідникові у 2011 р.

Ключові слова: вуглецевий цикл, степові угруповання, зміна режиму опадів.

Постановка та обґрунтування актуальності проблеми

Кліматичні фактори, що визначають структуру та функціонування екосистем, закономірності їх загального розподілу, нині зазнають суттєвих змін. Однією з причин змін клімату вважається порушення енергетичного балансу біосфери в цілому та її складових екосистем під впливом антропогенної діяльності. Оскільки кліматичні фактори опосередковано впливають на інші фактори розвитку екосистем, то глобальні прояви змін клімату, що можуть виражатись у підвищенні температури повітря або збільшенні кількості опадів, на регіональному рівні можуть впливати на показники інших факторів або характеристики екосистем [7].

Степові угруповання є одними з найчутливіших до кліматичних змін. Вони характеризуються високою динамічністю, перебувають у стані нестійкої рівноваги і водночас сприяють високій інтенсивності видоутворення, завдяки чому в складі флори та фауни степової біоти багато ендемічних видів. Разом із тим трав'янисті, в тому числі степові біотопи, що покривають близько 45 % земної поверхні, депонують приблизно 28–37 % органічного ґрунтового вуглецю і відіграють важливу соціально-економічну роль у суспільстві [14, 21]. В Україні степи існують переважно у вигляді локалітетів, непридатних для рільництва; а цілинних степових ділянок залишилось близько 1 % від площі всієї степової зони, що підтверджує високий ступінь актуальності досліджень відповідей степових угруповань на зміни клімату.

Головним кліматичним чинником, який визначає структуру та розподіл рослинних угруповань, є гідротермічний режим, тобто співвідношення показників температури та вологості. Однак одиниць оцінки цього комплексного фактору не існує і температуру та вологість часто аналізують окремо, в результаті чого отримані висновки часто бувають досить суперечливі.

Так, в Україні середньорічна температура повітря за минуле століття підвищилася на 0,5–0,6 °С, переважно за рахунок зимового та весняного сезонів [8]. На основі цього було зроблено висновок, що така тенденція може призвести до появи напівпустельних ознак, а в подальшому, коли рівень глобального потепління перевищить 3–4 °С, катастрофічного спустелювання південно-східних регіонів України [5, 9].

Однак у процесі аналізу опадів формулюється цілком інший висновок. Згідно з оцінками Міжурядової асамблеї зі змін клімату (IPCC) IV доповіді у 2007 році, рівень опадів у світі має тенденцію до зростання на 0,5–1 % кожну декаду цього сторіччя [15]. На території України у період найбільш інтенсивного потепління (1975–2000 рр.) відмічалось зменшення амплітуди коливань опадів зі збільшенням їхньої кількості в останнє п'ятиріччя. За останні сто років середньорічна кількість опадів у різних регіонах України збільшилася на 100 мм. За період 1991–2007 рр. дослідники відмічають дві тенденції щодо розподілу їх по сезонах: перша – це зниження опадів у зимовий період, особливо у грудні та січні; друга – це зростання опадів восени, особливо у вересні та жовтні на 140–180 % [3, 8, 12]. За розрахунками прогностичних моделей

[1] Статтю виконано в рамках проекту «Нелінійна реакція степових екосистем України на зміни кількості опадів» за фінансової підтримки Фонду цивільних досліджень США (CRDF) та Держкомінформнауки України.

загальної циркуляції атмосфери та океанів (МЗЦАО) в Україні в майбутньому очікується підвищення приземної температури повітря у всі сезони року (з найбільшими швидкостями зростання температур у зимовий період), а також збільшення кількості опадів, особливо у зимовий і весняний періоди та зменшення у літній та осінній сезони [11].

Зміни режиму опадів викликають різноманітні зрушення у функціях екосистем, їх сукцесії, що вже спостерігається у наших степах, а в кінцевому результаті це відображається на таких параметрах, як первинна продуктивність та інтенсивність засвоєння вуглецю [12, 16]. Такі якісні зміни на глобальному рівні, своєю чергою, призводять до того, що екосистеми відповідно впливають і на кліматичні показники, посилюючи ефект потепління [19].

Зважаючи на критичний стан та важливість уразливих степових угруповань, особливо в нестабільних кліматичних умовах сьогодення, виникає необхідність дослідження взаємозв'язків між окремими компонентами та кругообігу елементів і речовин, зокрема, вуглецевого циклу, який досить тісно пов'язаний із кліматичними змінами. З іншого боку, степові угруповання, що мають в своєму складі багато однорічних рослин, порівняно швидко реагують на зміни умов існування, тому є ефективною моделлю для таких експериментів [22].

Метою роботи є аналіз стану досліджень відповіді степово-лучних угруповань (*grasslands*) на експериментальні зміни абіотичних факторів (температури, опадів, складу мікроелементів у ґрунті), а також оцінка тих показників, які характеризують вуглецевий цикл в екосистемах при зміні кількості опадів.

Аналіз досліджень та публікацій

Вивчення реакції вуглецевих циклів степово-лучних угруповань (*grasslands*) на експериментальні зміни абіотичних факторів інтенсивно досліджуються останні 20 років групами фахівців у США, Китаї та окремих європейських країнах.

У цілому дослідження показують, що підвищення рівня опадів може стимулювати поглинання вуглецю в процесі фотосинтезу, вивільнення його в процесі дихання, що сприяє підвищенню біологічної різноманітності [20]. Зменшення кількості опадів призводить до зниження наземної чистої первинної продуктивності екосистем та показників відношення маси надземної частини рослин до підземної, а також рівня «дихання» ґрунту [16, 17]. Ці взаємозв'язки продемонстровано на основі проведення семи експериментів зі штучної зміни кількості і частоти опадів, температури, вуглекислоти у повітрі або вмісту азоту в ґрунті, які наведено в табл. 1.

Таблиця 1. **Дослідження з експериментальною зміною абіотичних факторів середовища в лучних та степових екосистемах та отримані ефекти**

N	Місце розташування	Тривалість	Процедура	Отримані ефекти	Посилання
1	Браунс Велі (Browns Valley), Каліфорнія, США	4 роки	О ↑ на 50 %; Додано 1 ранній + 1 пізній дощ на сезон	НЧПП ↑; Дихання ґрунту ↑	[14]
2	Біологічний заповідник Джаспер Рідж (Jasper Ridge), Каліфорнія, США	3–5 років	О ↑ на 50 %; CO2 ↑; N ↑; T ↑ на ≈ 1 °C	НЧПП ↑	[22, 25]
3	Центральні рівнини (Central Redbed Plains), Оклахома, США	1+3 роки	О ↑ на 50 %; T ↑ на 4 °C	Весняна біомаса ↑ Осіння продукція ↓; Більша кількість C3-рослин	[23]
4	Південий регіон Великих Рівнин, США	Вимірювання у 2003–2005 рр.	Градієнт природних опадів з 430 до 1200 мм	НЧПП ↑; НЧР/МК ↓; Дихання ґрунту ↑; C у ґрунті – постійний	[26]
5	Біологічна станція Конза Прерії (Konza Prairie), Канзас, США	3–4 роки	О ↓ на 30 %; Інтервали між опадами ↑ на 50 %	Вологість ґрунту ↓; НЧПП ↓ на ≈ 10 %; НЧР/МК ↑	[16, 17]
6	Дослідницька станція частини монгольських степів, північний Китай	2 роки	О ↑ на 50 %; N ↑	Зберігання C екосистемою ↑ на 6 %; зберігання N ↑ на 8 %	[18]
7	Шейєн (Cheyenne), Вайомінг, США	1 рік	CO_2 ↑; 8 додаткових О по 20 мм у вегетаційний період	З причини додаткових О: ВПП ↑ на 250 % в травні і на 800 % в серпні	[13]

Примітки: НЧПП – наземна чиста первинна продуктивність; ВПП – валова первинна продуктивність; НЧР/МК – відношення маси надземної частини рослин до маси їхніх коренів; О – опади; N – азот; C – вуглець; T – температура.

Як видно з табл. 1, найрозповсюдженішим варіантом експериментальних змін є штучне підвищення кількості опадів на 50 %. Також у дослідженнях [13, 14, 16] було змінено режим опадів шляхом збільшення тривалості сухого періоду між дощами та створення певної кількості додаткових «дощів» з фіксованою кількістю води, що потрапляє на ділянку.

У працях [16, 17] було порушено питання про важливість зміни режиму опадів протягом року для функціонування та продуктивності екосистем прерій. Збільшення бездощового періоду та інтенсивності дощів за умов збереження середньорічної кількості опадів, що отримує екосистема, призвело до зниження продуктивності у преріях з помірно вологим природним кліматом (*mesic grasslands*) та до її підвищення у преріях з напівзасушливим кліматом (*semi-arid grasslands*). Тобто, при переході від вологого до напівзасушливого клімату було отримано протилежний ефект. Як було зазначено, встановлення взаємозв'язків між кількістю опадів та їхнім розподілом в екосистемі є ключовим для прогнозування відповідей на глобальні зміни клімату. Водночас результати досліджень показали, що порушення періодичності та інтенсивності при забезпеченні збереження загально річної кількості опадів досить швидко змінює показники характеристик карбонового циклу екосистеми та видовий склад біоти [17].

Було проведене дослідження [14] щодо змін загальної кількості опадів та їхнього режиму на продуктивність та інші параметри екосистем (див.: п. 1 у табл. 1). Результати досліджень свідчать про сильну позитивну взаємодію між річною кількістю опадів та НЧПП: зміни кількості опадів у різні роки суттєво впливали на вуглецевий цикл. При цьому найбільше значення мали зміни в сезонному режимі опадів, а не загальній кількості опадів за сезон. Показано, що інтенсивність дихання ґрунту зростала протягом 2–4 тижнів після зволоження [14].

Дослідження [22, 25], представлені у табл. 1, відображають ефект та важливість спільної дії кількох штучно змінених факторів на продуктивність екосистеми прерій. Фахівці відмічають суттєву різницю між ефектами дії поодиноко змінених факторів та сукупним одночасним їх впливом [22]. Так, було доведено, що підвищений рівень CO_2 відігравав стимулюючу роль за умов низької продуктивності, але пригнічував високу продуктивність. Підвищення температури під час експерименту суттєво не змінювало продуктивність екосистеми, але штучне збільшення опадів підвищувало продуктивність та видову різноманітність рослинного покриву [25].

Іншій важливий аспект, пов'язаний із взаємодією кількості доступної вологи та рівнем вуглекислого газу, представлено у дослідженні [13]. Так, засвоєння CO_2 екосистемою у прерії залежить від рівня вологості ґрунту і може лімітувати накопичення вуглецю. Збільшення опадів за умов звичайного рівня CO_2 стимулює валову первинну продуктивність суттєвіше, ніж дихання екосистеми, але підвищення рівня вуглекислого газу разом зі збільшенням опадів стимулює дихання майже так само інтенсивно, як і ВПП [13].

Перспективи подальших досліджень

Незважаючи на відносно велику кількість експериментів, метою яких є вивчення реакції вуглецевого циклу злакових екосистем на зміну абіотичних факторів середовища, процеси, що відбуваються під час трансформації елементів карбонового циклу в умовах змін клімату залишаються здебільшого незрозумілими [26]. Деякі вчені навіть стверджують, що ефекти від зміни рівня та режиму опадів є недостатньо вивченими порівняно з ефектами від штучного підвищення температури і CO_2 у повітрі експериментальних ділянок [14].

Отже, можна виокремити кілька перспективних напрямів для дослідження цієї тематики: а) штучні зміни звичайного режиму опадів на екстремальніший (більш інтенсивні дощі з довшим часовим інтервалом між ними) [14]; б) комплексні експерименти зі змінними параметрами, такими, як рівень CO_2 у повітрі, вміст вуглецю та азоту в ґрунті, температура повітря, кількість і частота опадів тощо [22, 25]; в) штучні зміни кількості опадів на різних рівнях для дослідження нелінійності змін вуглецевих сполук в екосистемах [27].

Гіпотеза нелінійності відповідей екосистем на зміну клімату вважається одним з найбільш важливих напрямів досліджень для прогнозування цих змін. Саме розуміння суті нелінійних процесів, що відбуваються в екосистемах, може підвищити ефективність управлінських рішень на всіх рівнях [27]. Сьогодні існують екологічні моделі, що описують можливі реакції екосистем на зміни клімату, підкріплені статистичними даними з просторового розподілення кліматичних факторів [26], але бракує експериментальних підтверджень змодельованих результатів.

Незважаючи на прогнози, розроблені Міжурядовою асамблеєю зі змін клімату в 2007 році щодо різноманітності змін кількості опадів на локальних рівнях [15], дослідження реакцій екосистем проводились в основному за умов ± 50 % штучної зміни опадів (див. табл. 1). Також слід зауважити, що порівняння результатів досліджень через їх різні тривалість та фонові умови не дає змоги отримати цілісну картину.

Таким чином, дослідження змін вуглецевого циклу трав'янистих екосистем на різнорівневі зміни кількості опадів є досить актуальними.

Дослідний стаціонар у Карадазькому природному заповіднику (південно-східний регіон АР Крим)

У рамках дворічного проекту «Нелінійна реакція степових екосистем України на зміни кількості опадів», що здійснюється у співпраці з лабораторією ботаніки та мікробіології Оклахомського університету (США) та Карадазьким природним заповідником НАН України за фінансової підтримки Фонду цивільних досліджень США (CRDF Global), розпочато низку експериментів зі штучного підвищення та зниження рівня опадів на дослідному стаціонарі, розташованому в степовому передгір'ї на території Карадазького природного заповідника (АР Крим). Загальними цілями дослідження є: 1) виокремлення компонентів і процесів вуглецевого та водного циклів екосистеми з метою вивчення їхньої ролі у зміні вуглецевого та водного балансів під впливом змін кількості опадів; 2) перевірка гіпотези нелінійного характеру відповіді компонентів екосистеми на зміну кількості опадів.

Карадазький природний заповідник розташовано на межі гірської Субсередземноморської та Степової зон і омивається Чорним морем. Це унікальне місцезнаходження зумовлює високу видову різноманітність флори і фауни, а також наявність різних типів екосистем на невеликій території [6, 10]. Тут проходить межа двох кліматичних зон [4], помірної та субтропічної, що підвищує наукову цінність досліджень, спрямованих на вивчення зсувів кліматичних зон та інших аспектів змін клімату.

Клімат Карадагу посушливий, з м'якими вологими зимами та помірно-спекотливим сухим літом. Атмосферні опади розподілено по місяцях відносно рівномірно і становлять 300–700 мм на рік, залежно від висоти над рівнем моря. Протягом року зазвичай фіксується два невиражені піки опадів: влітку (червень-липень) та наприкінці осені–взимку (листопад-січень) [4]. Режим погоди є дуже мінливим у зимовий період – з листопада спостерігаються значні коливання хмарності, сонячної радіації, температури, вологості повітря і ґрунту тощо.

Дослідний стаціонар площею 0,06 га було сконструйовано навесні 2011 р. у південно-західній частині заповідника (рис. 1), в нижній частині Карадазької балки на плескатому плато, що на висоті 41 м над рівнем моря.

Він складається з 21 пробної ділянки розмірами 2 × 2 м, на яких відбувається моделювання різного режиму зволоження за рахунок перерозподілу природних опадів. Дослідження передбачає шість експериментальних режимів зволоження (збільшення на 20, 40 та 60 % і зменшення на 20, 40 та 60 % від природного фону) та контроль. Конструкції для регулювання кількості, збирання та перерозподілу опадів збудовано в квітні 2011 р. за описами аналогічних експериментів у США та Європі [24]. Вони являють собою закріплені над кожною ділянкою дахи з прозорого акрилу у формі жолобів, які пропускають необхідну кількість опадів на ділянку (у випадку «мінус» експерименту); решта опадів стікає через систему стічних труб та розподільників на ті ділянки, де потрібно підвищити кількість опадів на зазначений рівень («плюс» експеримент) (рис. 2).

Прозорість акрилу та тонкість сталевих елементів конструкції забезпечують мінімальний вплив на інші екологічні параметри (наприклад,

Рис. 1. Розташування експериментальних ділянок у Карадазькому природному заповіднику (масштаб 1:100000)

інсоляцію). Для уникнення водообміну між ґрунтом під ділянками та навколишнім середовищем, по периметру кожної ділянки було встановлено гідробар'єр з товстої поліетиленової плівки на глибину 50 см.

Рис. 2. Конструкції для регулювання кількості, збирання та перерозподілу опадів

Субстрат на ділянці глинисто-щебенистий, з невисоким вмістом гумусу. Рослинний покрив на дослідному стаціонарі є типовим для аридних передгірних степів Криму і являє собою типчаково-різнотравний степ зі значною участю (на деяких майданчиках – до 75–80 %) субсередземноморських ефемерних злаків та представників родини бобових.

Протягом 2011–2012 рр. планується вивчити динаміку показників, що характеризують стан водного та вуглецевого циклів екосистеми, а також фенологічні зміни і зміни видового складу рослинності. Вимірювані показники включають: температуру та вологість ґрунту, температуру повітря, запас та приріст біомаси надземної та підземної частин фітоценозу, чисту первинну продуктивність (асиміляція вуглекислого газу наземною частиною рослинності), дихання зеленої маси, кореневе та мікробне, вміст вуглецю у підстилці, вміст нітрогену і вуглецю у ґрунті, видовий склад рослинності та фенологічні характеристики видів.

Група показників, що характеризують динаміку вуглецевих циклів в екосистемі, буде вимірюватись за допомогою інфрачервоного газоаналізатора (CO650 Plant CO2 Analysis Package, виробник Qubit Systems, Канада). Запас біомаси надземної та підземної частин фітоценозу вимірюється непрямим методом (*point-frame method*) шляхом її зрізання на калібрувальних ділянках та перерахунку [19]. Проективне покриття та ступінь трапляння видів визначається стандартними методами та методом сітки. Вміст у ґрунті карбону буде проводитись колориметричним методом випалювання органіки.

Висновки

Показники опадів (кількість, інтенсивність, частота) реагують на глобальні зміни клімату. В останні 20 років науковцями різних країн світу було проведено низку експериментів з метою дослідження реакції екосистем на зміну опадів. Експериментальні процедури включали штучне підвищення опадів на 50 %, зміну їх режиму шляхом організації триваліших періодів посухи між ними або штучних дощів чи зміни їхньої інтенсивності.

Проведені дослідження дали змогу виокремити загальні причинно-наслідкові зв'язки між викликаними змінами та отриманими ефектами. Так, підвищення кількості опадів у більшості випадків призводило до збільшення наземної чистої первинної продуктивності екосистем прерій, інтенсифікації кореневого та мікробного дихання, зменшення відношення маси надземної частини рослин до маси їхніх коренів. В окремих випадках, коли тривалість експерименту перевищувала 3 роки, спостерігалось також поступове переважання С3-рослин у загальному видовому складі.

Серед проблем, які досі залишаються на рівні теоретичного моделювання і потребують експериментального підтвердження, є дослідження відповіді екосистем на зміну кількості опадів, що має нелінійний характер. Підтвердження цієї гіпотези може підвищити ефективність прогнозування подальших змін клімату. Запропоноване дослідження відповідей вуглецевого циклу степових угруповань на різнорівневу зміну кількості опадів на базі Карадазького заповідника дозволить відповісти на поставлені питання. Комплексне вивчення ефектів від штучної зміни кількості опадів над окремими ділянками природних екосистем досі не проводилось на території України; таким чином, дослідний стаціонар може стати своєрідною платформою для подальших досліджень в цьому напрямку. Отримані в результаті проекту дані дадуть можливість використати їх для відповідних порівнянь та моделювання розвитку степових екосистем.

Література

1. Бабко І. А. Диференціація рослинного покриву степів південної частини Лівобережного Лісостепу України : автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. біол. наук / І. А. Бабко. – К., 1999. – 19 с.
2. Барабаш М. Б. Дослідження змін та коливань опадів на рубежі XX і XXI ст. в умовах потепління глобального клімату / М. Б. Барабаш, Т. В. Корж, О. Г. Татарчук // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2004. – Вип. 253. – С. 92–102.

3. Барабаш М. Б. Сучасний стан режиму опадів на території України, як наслідок зміни клімату / М. Б. Барабаш, О. Г. Татарчук, Н. Гребенюк, Т. В. Корж // Стендова доповідь на Міжнародній конференції «Глобальні та регіональні зміни клімату» (Київ, Україна, 16–19 листопада 2010 р.). – Режим доступу: http://www.uhmi.org.ua/conf/climate_changes/ presentation_pdf/poster_1/Tatarchuk_Grebenuk.pdf. – Назва з екрана.
4. Бескаравайный М. М. Природа Карадага / М. М. Бескаравайный, Н. С. Костенко, Л. П. Миронова и др. ; [Под ред. А. Л. Морозовой, А. А. Вронского.]. – К. : Наук. думка, 1989. – 288 с.
5. Бойченко С. Г. Особливості трансформації природних фізико-географічних зон під впливом коливань клімату / С. Г. Бойченко // Фізична географія та геоморфологія. Міжвідомчий науковий збірник. – 2003. – Вип. 44. – С. 12–18.
6. Дидух Я. П. Карадагский государственный заповедник. Растительный мир / Я. П. Дидух, Ю. Р. Шеляг-Сосонко. – К. : Наук. думка, 1982. – 150 с.
7. Дідух Я. П. Екологічні аспекти глобальних змін клімату : причини, наслідки, дії / Я. П. Дідух // Вісник НАН України. – 2009. – № 2. – С. 34–44.
8. Клімат України / [за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко.]. – Мінеколприродресурсів України. НАН України. Держ. гідрометеорологіч. служба Міністерства екології та природ. ресурсів України. Укр. наук.-дослід. гідрометеорологіч. ін-т. – К., 2003. – 343 с.
9. Мельниченко О. Л. Аналіз наслідків змін клімату та їхнього впливу на флору України на прикладі Миколаївської області / О. Л. Мельниченко, Г. Г. Трохименко // Науковий вісник НЛТУ України. – 2009. − Вип. 19.14. − С. 300–305.
10. Обоснование создания Карадагской станции фонового экологического мониторинга / [за ред. В. А. Боков, Ю. И. Будашкин, С. А. Карпенко.]. – Симф., 1995. – 92 с.
11. Паламарчук Л. В. Сезонні зміни клімату в Україні в XXI столітті / Л. В. Паламарчук, Н. В. Гнатюк, С. В. Краковська, І. П. Шедеменко, Г. О. Дюкель // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2010. – Вип. 259. – С. 104–120.
12. Ткаченко В. С. Фітоценотичний моніторинг резерватних сукцесій в Українському степовому природному заповіднику / В. С. Ткаченко. – К. : Фітосоціоцентр, 2004. – 184 с.
13. Bachman S. Elevated carbon dioxide alters impacts of precipitation pulses on ecosystem photosynthesis and respiration in a semi-arid grassland / S. Bachman, J. W. Heisler-White, E. Pendall et al. // Oecologia. – 2010. – Vol. 162. – P. 791–802.
14. 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.
15. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / [eds. Solomon S. D. et al.]. – New York : Cambridge University Press, 2007. – 996 p.
16. Fay P. A. Productivity responses to altered rainfall patterns in a C4-dominated grassland / P. A. Fay, J. D. Carlisle, A. K. Knapp et al. // Oecologia. – 2003. – Vol. 137. – P. 245–251.
17. Knapp A. K. Rainfall variability, carbon cycling, and plant species diversity in a mesic grassland / A. K. Knapp, P. A. Fay, J. M. Blair, S. L. Collins et al. // Science. – 2002. – Vol. 298. – P. 2202–2205.
18. Lü F. M. Carbon and nitrogen storage in plant and soil as related to nitrogen and water amendment in a temperate steppe of northern China / F. M. Lü, X. T. Lü, W. Liu, X. Han et al. // Biol Fertil Soils. – 2011. – Vol. 47. – P. 187–196.
19. Luo Y. Q. Terrestrial carbon cycle feedback to climate warming: experimental evidence on plant regulation and impacts of biofuel feedstock harvest / Y. Q. Luo, R. Sherry, X. Zhou et al. // GCB Bioenergy. – 2009. – Vol. 1. – P. 62–74.
20. Patrick L. Effects of an increase in summer precipitation on leaf, soil, and ecosystem fluxes of CO2 and H2O in a sotol grassland in Big Bend National Park, Texas / L. Patrick, J. Cable, D. Potts et al. // Oecologia. – 2007. – Vol. 151. – P. 704–718.
21. Saco P. M. Eco-geomorphology and vegetation patterns in arid and semi-arid regions / P. M. Saco, G. R. Willgoose, G. R. Hancock // Hydrol Earth Syst Sci Discuss. – 2006. – Vol. 3. – P. 2559–2593.
22. Shaw M. R. Grassland Responses to Global Environmental Changes Suppressed by Elevated CO2 / M. R. Shaw, E. S. Zavaleta, N. R. Chiariello et al. // Science. – 2002. – Vol. 298. – P. 1987–1990.
23. Sherry R. A. Lagged effects of experimental warming and doubled precipitation on annual and seasonal aboveground biomass production in a tallgrass prairie / R. A. Sherry, E. Weng, J. Arnone, D. W. Johnson et al. // Global Change Biology. – 2008. – Vol. 14. – P. 2923–2936.
24. Yahdjian L. A rainout shelter design for intercepting different amounts of rainfall / L. Yahdjian, O. E. Sala // Oecologia. – 2002. – Vol. 133. – P. 95–101.
25. Zavaleta E. S. Grassland responses to three years of elevated temperature, CO2, precipitation, and N deposition / E. S. Zavaleta, M. R. Shaw, N. R. Chiariello et al. // Ecological Monographs. – 2003. – Vol. 73. – P. 585–604.
26. 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.
27. Zhou X. Modeling patterns of nonlinearity in ecosystem responses to temperature, CO2, and precipitation changes / X. Zhou, E. Weng, Y. Luo // Ecological Applications. – 2008. – Vol. 18. – P. 453–466.

Ya. Didukh, O. Khalaim, I. Vyshenska

RESPONSES OF CARBON CYCLING TO ALTERED PRECIPITATION IN GRASSLANDS: STATE OF KNOWLEDGE AND RESEARCH PERSPECTIVES IN SOUTH-EASTERN CRIMEA

The article provides a brief analysis of different research dealing with grassland carbon cycling responses to altered precipitation regimes (quantity, frequency, and intensity of rainfall events). The necessity to support a hypothesis of nonlinearity of grassland carbon cycling responses to altered precipitation by field manipulative experiments is posed. We describe the experiment of rainfall redistribution on six levels (+/– 20, 40, 60 % and control) initiated in Karadag Nature Reserve in 2011 to improve understanding of non-linear ecosystem-climate interactions in steppe ecosystems.

Keywords: carbon cycling, grasslands, altered precipitation regime.

Матеріал надійшов 09.09.2011