

I. Vyshenska

ROLE OF THE COMPONENTS OF FOREST ECOSYSTEMS IN CARBON ACCUMULATION AS FACTOR IN MAINTAINING THEIR STABILITY TO EXTERNAL IMPACTS

The article provides a brief review of different research dealing with carbon accumulation by forest ecosystems. The role of three main carbon pools in forest phytocenosis is analysed. The role of these pools in maintaining ecosystem stability to ambient factors is discussed.

Keywords: carbon accumulation, forest ecosystems, ecosystem stability.

Матеріал надійшов 09.06.2014

УДК 574.24+551.583

Халаїм О. О.

ВАЛОВА ПРОДУКТИВНІСТЬ ТРАВ'ЯНИХ УГРУПОВАНЬ КАРАДАЗЬКОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА ПІД ВПЛИВОМ ЗМІН КІЛЬКОСТІ ОПАДІВ: ДИНАМІКА 2012–2013 РР.

У статті проаналізовано сезонну динаміку валової продуктивності трав'яних угруповань південно-східного Криму у 2012–2013 рр. за умов експериментальної зміни режиму зволоження; показано, що трав'яні угруповання з підвищенням опадів на 40 та 60 % можуть слугувати резервуаром вуглекислого газу. Встановлено добові піки продуктивності та дихання екосистеми у червні 2012–2013 рр.

Ключові слова: вуглецевий цикл, степові угруповання, добова динаміка, валова продуктивність екосистеми (GEP), чистий екосистемний обмін (NEE), дихання екосистеми (ER).

Динаміка продуктивності степово-лучних формацій може слугувати важливим індикатором, що характеризує особливості відповіді екосистеми на кліматичні зміни, в тому числі зміни кількості опадів. Відомо [4], що степові екосистеми через власну нестійкість та високу динамічність є одними з найбільш вразливих типів екосистем до змін кліматичних умов. Беручи до уваги характерну аридність степів, слід відзначити також високий рівень чутливості трав'яних угруповань до екстремальних значень саме рівня зволоженості як одного з дефіцитних еколо-

гічних факторів степу [4]. Аналіз змін у динаміці валової продуктивності типчаково-різнотравного степу за різних режимів зволоження є вкрай актуальним завданням, що дозволяє виявити можливі в майбутньому критичні порогові зміни у функціонуванні степів.

Валова продуктивність помірних степів як біому є невисокою; у 1990-х роках вона оцінювалась на рівні 7 % від загальної річної продуктивності наземних екосистем, тоді як внесок тропічних луків становив уже 25,8 % [9]. Надземна фітомаса євразійських степів може коливатися

у досить широкому діапазоні: від 1,6 до 5,7 т/га [3]. Помірні та напівсухі степи Американського континенту мають середню річну валову продуктивність на рівні 200–1700 г С м² [6; 7].

Метою цього дослідження є аналіз динаміки сезонної валової продуктивності трав'яних угруповань південно-східного Криму у 2012–2013 рр. за умов експериментальної зміни режиму зволоження, а також процесів екосистемного дихання та чистого екосистемного обміну вуглецю.

Об'єкти та методи дослідження

Вимірювання параметрів, що характеризують валову продуктивність екосистеми, відбувалося на експериментальному стаціонарі на території Карадазького природного заповідника (АР Крим). Стаціонар являє собою 21 ділянку типчакково-різнотравного степу зі значною участю субсередземноморських ефемерних злаків та представників родини бобових. На дослідних ділянках з травня 2011 р. відбувається перерозподіл природних опадів на 6 рівнів: додавання опадів на 20, 40, 60 % та віднімання опадів на ті самі рівні. Усі зміни проводяться у трьох повторах та за наявності трьох контрольних ділянок (докладніше про постановку експерименту у [1; 2]).

Валова продуктивність екосистеми (GEP) за загальноприйнятою методикою [6; 11] розраховувалась як відношення дихання ґрунту (ER) та чистого екосистемного обміну вуглецю (NEE), які, у свою чергу, вимірювалися раз на місяць протягом двох вегетаційних періодів (травень – жовтень 2012 р. та березень – жовтень 2013 р.). Вимірювання проводились камеро-статистичним методом за допомогою замкнутої системи для вимірювання концентрації вуглекислого газу в повітрі (CO₂ Plant CO₂ Analysis Package, виробник Qubit Systems,

Канада) (докладніше у [5]), у сонячні дні, з 08:00 до 12:00.

З метою перерахунку інтенсивності дихання та асиміляції вуглекислого газу з одноразових щомісячних значень у середньомісячній та сезонній, у травні та червні (в період пікової вегетації рослинних угруповань) було проведено добові вимірювання екосистемних потоків вуглецю на контрольних ділянках. Це дозволило оцінити добовий потік CO₂ в екосистемі та визначити коефіцієнт перерахунку кількості CO₂ у період з 08:00 до 12:00 на кількість CO₂, що вивільнюється й асимілюється екосистемою протягом доби. У 2012 р. вимірювання добової динаміки екосистемних потоків вуглецю проводилося з 20:00 18 травня по 19:30 19 травня; періодичність проб для кожної з трьох контрольних ділянок становила в середньому 25–45 хвилин. Додатково у червні було отримано дані з динаміки чистого екосистемного обміну вуглецю й екосистемного дихання, які вимірювалися 20 червня з 06:00 по 12:00 та з 15:00 по 19:00. У 2013 р. добові вимірювання проводилися з 12:00 25 червня по 12:00 26 червня з середньою періодичністю 2 години.

Сезонні потоки вуглецю оцінювалися шляхом додавання розрахованої кількості CO₂ за часовий період між вимірюваннями до щомісячних значень та перерахунку цих значень з мкмоль CO₂ м⁻²с⁻¹ на г С м⁻² сезон⁻¹. Добові потоки CO₂ на контрольних ділянках використано для коригування оцінки щомісячних даних: так, у травні – червні валова продуктивність з 08:00 до 12:00 у перерахунку на добу в середньому становила 140–155 % від фактичної добової продуктивності. За той самий період розрахункове добове дихання екосистеми в середньому становило 90–98 % від фактичних добових потоків вуглецю через продовження емісії CO₂ вночі.

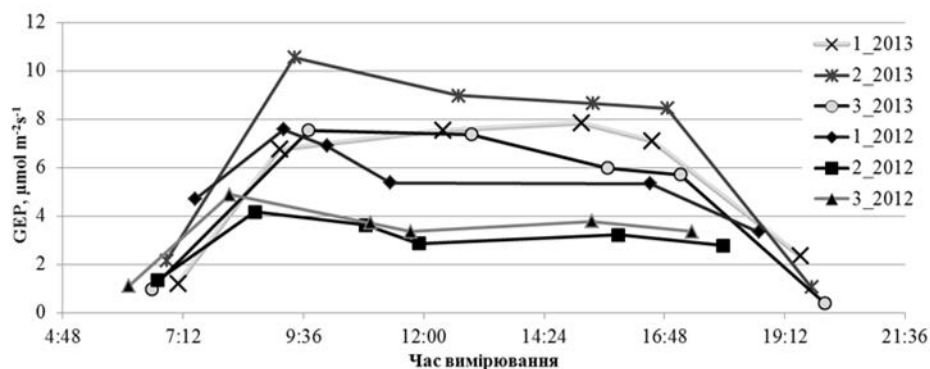


Рис. 1. Добова динаміка валової продуктивності екосистеми на контрольних ділянках 1, 2, 3 у червні 2012 та 2013 рр., мкмоль CO₂ м⁻²с⁻¹

Результати та обговорення

Вимірювання добової динаміки валової продуктивності екосистеми в 2013 р. підтвердили наявність двох піків продуктивності екосистеми протягом світлового часу доби, які спостерігались у травні та червні 2012 р. [5]: перший пік з 08:00 до 10:00 та другий, менш виражений, з 15:30 до 16:50 (рис. 1). Валова продуктивність на контрольних ділянках у червні 2013 р. була дещо вищою у порівнянні за аналогічний період 2012 р.

Добова динаміка дихання екосистеми трохи відрізнялась у 2012 та 2013 рр. Так, у 2012 р. пік дихання припадав на першу половину дня (з 08:00 до 11:00), тоді як у 2013 р. він зсувається (з 09:30 до 15:00). Значення по диханню екосистеми у 2013 р. аналогічно до значень валової продуктивності вищі порівняно з 2012 р. (рис. 2), оскільки у червні 2013 р. випало у п'ять разів більше опадів порівняно з червнем 2012 р. (дані метеостанції у смт Курортне Феодосійського району АР Крим).

зворотна тенденція: на типах експерименту «-20 %» та «-60 %» відбувалося зниження значень порівняно з контрольними на 25 % та 46 % відповідно. Це можна пояснити певною стабілізацією системи протягом третього року проведення експерименту.

Валова продуктивність екосистеми в обох роках залишалась приблизно на одному рівні за всіма типами експерименту, хоча місячний розподіл через різну ситуацію з опадами значно відрізнявся [10]. На ділянках з від'ємним типом експерименту за обидва роки спостерігалось зниження продуктивності пропорційно до експериментального зниження кількості опадів (табл. 2).

Експериментальне збільшення опадів у 2012 р. призвело до більш яскравої відповіді екосистеми, ніж у 2013 р.: на ділянках «+20 %» та «+40 %» відбулося підвищення продуктивності на 34 % та 40 % порівняно з контрольними значеннями відповідно, тоді як у наступному році підвищення вже становило тільки 8 % та 24 % відповідно (табл. 2). Це можна пояснити нетиповою ситуацією

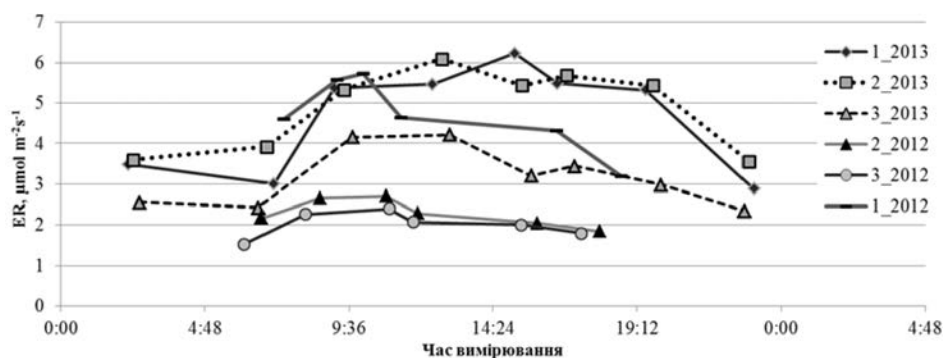


Рис. 2. Добова динаміка дихання екосистеми на контрольних ділянках 1, 2, 3 у червні 2012 та 2013 рр., мкмоль $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$

Дихання екосистеми у 2012 р. було вищим за всіма типами експерименту порівняно з показниками 2013 р. (табл. 1); на «від'ємних» експериментальних ділянках у 2012 р. відбувалась інтенсифікація дихальних процесів порівняно з контролем, тоді як у 2013 р. вже спостерігалася

з опадами у 2013 р.: аномально сухі весняні місяці та більше 140 мм опадів у червні у вигляді невеликої кількості сильних злив (дані метеостанції у смт Курортне Феодосійського району АР Крим). Відомо, що збільшення часового проміжку між дощами та їхньої інтенсивності за аналогічної

Таблиця 1. Розрахункова сезонна емісія вуглецю під час дихання екосистеми (ER) у 2012–2013 рр. за типами експерименту, $\text{г С м}^{-2} \text{ сез}^{-1}$

Тип експерименту	2012 $\text{г С м}^{-2} \text{ сез}^{-1}$	Станд. похибка	Відхилення значень від контр., %	2013 $\text{г С м}^{-2} \text{ сез}^{-1}$	Станд. похибка	Відхилення значень від контр., %
-60 %	706,70	41,71	-22,09	338,70	43,60	-46,10
-40 %	1177,25	94,34	29,79	658,92	51,63	4,86
-20 %	1179,70	45,35	30,06	470,11	35,92	-25,19
Контроль	907,02	33,82	0,00	628,41	42,45	0,00
+20 %	1376,58	103,99	51,77	658,82	24,08	4,84
+40 %	1322,30	99,42	45,78	942,49	57,16	49,98
+60 %	1086,80	47,41	19,82	992,13	87,53	57,88

Таблиця 2. Розрахункова сезонна валова продуктивність екосистеми (GEP) у 2012–2013 рр. за типами експерименту, г С м⁻² сез⁻¹

Тип експерименту	2012 г С м ⁻² сез ⁻¹	Станд. похибка	Відхилення значень від контр., %	2013 г С м ⁻² сез ⁻¹	Станд. похибка	Відхилення значень від контр., %
-60 %	342,95	88,01	-60,06	312,57	51,19	-68,19
-40 %	388,33	88,01	-54,77	598,91	99,41	-39,05
-20 %	520,14	97,63	-39,42	616,44	119,93	-37,26
Контроль	858,65	80,92	0,00	982,56	209,62	0,00
+20 %	1153,63	165,99	34,35	1060,06	169,12	7,89
+40 %	1199,79	128,22	39,73	1219,46	197,50	24,11
+60 %	1021,19	147,50	18,93	1255,37	205,71	27,77

середньомісячної кількості опадів призводить до зниження продуктивності [8]; отже, в умовах весняної посухи та літньої перезволоженості ґрунту «додатні» типи експерименту не мали такого сильного впливу на продуктивність, як у 2012 р.

Як бачимо з табл. 3, в обох роках досліджувані рослини угруповання слугували резервуаром (стоком) вуглекислого газу на ділянках «+40 %», «+60 %» та контрольних, на що вказують від'ємні значення NEE. Від'ємність чистого екосистемного обміну вуглецю вказує на переважання асиміляції вуглецю в процесі фотосинтезу над його вивільненням під час дихальних процесів. У 2013 р. резервуаром (стоком) для вуглецю слугували ділянки 4-х типів експерименту з 7-ми (табл. 3). Від'ємні типи експерименту, навпаки, виявилися джерелом надходження вуглекислого газу в атмосферу.

Отже, аналіз дворічної динаміки валової продуктивності екосистеми трав'яних угруповань південно-східного Криму показав, з одного боку, відповідність отриманих сезонних даних з асиміляції вуглецю до аналогічних контрольних вимірів на інших ділянках помірних степів. З другого боку, спостерігалась реакція продуктивності не тільки на експериментальні зміни кількості опадів на дослідних ділянках, а й на різну гідрометеорологічну ситуацію у вегетаційні сезони 2012–2013 рр. Слід також відзначити очікувану нелінійність відповіді дихальних процесів на експериментальну модифікацію зволоження.

Таблиця 3. Розрахунковий сезонний чистий екосистемний обмін вуглецю (NEE) у 2012–2013 рр. за типами експерименту, г С м⁻² сез⁻¹

Тип експерименту	2012 г С м ⁻² сез ⁻¹	Стандартна похибка	2013 г С м ⁻² сез ⁻¹	Стандартна похибка
-60 %	278,66	28,69	94,61	44,20
-40 %	723,40	48,78	169,41	69,17
-20 %	601,21	46,15	-146,33	17,53
Контроль	-162,01	41,49	-354,15	25,69
+20 %	92,35	58,55	-401,25	37,07
+40 %	-140,21	59,11	-276,97	100,90
+60 %	-154,92	78,36	-263,24	56,07

Висновки

1. Вимірювання добової динаміки валової продуктивності екосистеми у 2012–2013 рр. показало наявність двох піків продуктивності екосистеми протягом світлового часу доби: перший пік з 08:00 по 10:00 та другий, менш виражений, з 15:30 по 16:50. Добова динаміка дихання екосистеми відрізнялася по роках: у 2012 р. пік дихання припадав на першу половину дня (з 08:00 по 11:00); у 2013 р. він зсувається (з 09:30 по 15:00).

2. Валова продуктивність екосистеми в обох роках залишалася приблизно на одному рівні за всіма типами експерименту, пропорційно знижуючись на ділянках з від'ємним типом експерименту.

3. Через певну стабілізацію екосистеми протягом третього року проведення експерименту у 2013 р. на типах експерименту «-20 %» та «-60 %» відбувалося зниження значень порівняно з контрольними на 25 % та 46 % відповідно, тоді як у 2012 р. на «від'ємних» експериментальних ділянках відбувалась інтенсифікація дихальних процесів порівняно з контролем.

4. Протягом обох років спостереження досліджувані рослини угруповання слугували резервуаром (стоком) вуглекислого газу на ділянках «+40 %», «+60 %» та контрольних. Від'ємні типи експерименту, навпаки, виявилися джерелом надходження вуглекислого газу в атмосферу, окрім ділянок «-20 %» у 2013 р.

Цю статтю виконано в рамках наукової бюджетної теми «Прогнозування реакції вуглецевого циклу степових екосистем України на зміни кількості опадів», реєстраційний номер в УкрІНТЕІ: 0113U002487.

Список літератури

1. Дідух Я. П. Реакція карбонового циклу степових угруповань на зміни рівня опадів: стан досліджень та перспективи дослідного стаціонару у південно-східному Криму / Я. П. Дідух, О. О. Халаїм, І. Г. Вишенська // Наукові записки НаУКМА. – 2011. – Том 119 : Біологія та екологія. – С. 46–51.
2. Дідух Я. П. Реакція трав'яних угруповань на штучну зміну кількості опадів у Карадазькому природному заповіднику: висхідний стан експерименту / Я. П. Дідух, О. Л. Кузьманенко, Л. П. Миронова // Український біологічний журнал. – 2013. – № 1. – С. 3–16.
3. Ткаченко В. С. Втрати енергії степовими екосистемами за різних видів їх експлуатації та енергетичні основи суцесійної стабільності степу / В. С. Ткаченко // Український фітоценологічний збірник. – К., 2007. – Сер. С, вип. 25. – С. 4–18.
4. Ткаченко В. С. Вплив кліматичних змін на степи України / В. С. Ткаченко // Вісті Біосферного заповідника «Асканія-Нова». – 2011. – Т. 13 – С. 5–21.
5. Халаїм О. О. Особливості добової динаміки екосистемних потоків вуглецю степових угруповань південно-східного Криму / О. О. Халаїм, І. Г. Вишенська // Наукові записки НаУКМА. – 2012. – Т. 132 : Біологія та екологія. – С. 48–54.
6. 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.
7. Seasonality of ecosystem respiration and gross primary production as derived from FLUXNET measurements / E. Falge, D. Baldocchi, J. Tenhunen et al. // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2002. – Vol. 113. – P. 53–74.
8. 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.
9. Gough C. M. Terrestrial Primary Production: Fuel for Life / C. M. Gough // *Nature Education Knowledge*. – 2011. – Vol. 3 (10). – P. 28–35.
10. Khalaim O. Dynamics of gross productivity and respiration of grasslands in south-eastern Crimea under altered precipitation / O. Khalaim, I. Vyshenska // *Вісник Харківського нац. ун-ту ім. В. Н. Каразіна. Серія : біологія. Спец. випуск*. – 2014. – (у друці).
11. Xia J. Response of ecosystem carbon exchange to warming and nitrogen addition during two hydrologically contrasting growing seasons in a temperate steppe / J. Xia, S. Niu, S. Wan // *Global Change Biology*. – 2009. – Vol. 15. – P. 1544–1556.

O. Khalaim

GROSS PRODUCTIVITY OF GRASSLANDS IN KARADAG NATURE RESERVE UNDER ALTERED PRECIPITATION: DYNAMICS OF 2012–2013

It has been analyzed seasonal dynamics of gross productivity of grasslands in south-eastern Crimea in 2012–2013 under altered precipitation; it has been shown that grasslands with added precipitation on 40 and 60 % can serve as carbon sink. It has been also defined daily peaks of ecosystem productivity and respiration in June 2012–2013.

Keywords: carbon cycling, grasslands, daily dynamics, gross ecosystem productivity (GEP), net ecosystem exchange (NEE), ecosystem respiration (ER).

Матеріал надійшов 20.07.2014