

ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ НА НАКОПИЧЕННЯ ТА РОЗКЛАД НАДЗЕМНОЇ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ В СТЕПОВИХ ФІТОЦЕНОЗАХ КАРАДАЗЬКОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА (АР КРИМ, УКРАЇНА)

У статті подано результати дослідження впливу низки кліматичних факторів та їхньої експериментальної модифікації на накопичення та розклад надземної фітомаси у степовому ценозі Карадазького природного заповідника. Показано характер сезонної динаміки приросту біомаси та трансформації опаду і підстилки. Встановлено кореляційні зв'язки між зміною кліматичних факторів та енергетичним запасом у фітомасі різних фракцій. Отримані результати мають важливе прогностичне значення для моделювання реакції біогеохімічних кругообігів, зокрема циклу вуглецю, у відповідь на глобальні і локальні зміни клімату.

Ключові слова: клімат, продуктивність, деструкція фітомаси, степ, енергетика, експериментальні дослідження, Карадазький природний заповідник.

Вступ

Зміни клімату та їхні негативні наслідки позначаються на структурі та функціонуванні екосистем. Одним із найважливіших показників, які реагують на зміни екосистем, є надземна біомаса рослин, у тому числі відмерлі її рештки, що формують підстилку. Підстилка впливає на організацію та динаміку біотичного угруповання, виконує роль депо-посередника поживних речовин, може змінювати фізичне та хімічне середовище, а також кількість різноманітних забруднювачів. Накопичена підстилка затримує світло, затінюючи насіння та проростки, зменшує теплову амплітуду ґрунту. Знижуючи максимальну температуру та створюючи бар'єр водяної пари, підстилка зменшує доступність води, затримує більшу частину опадів, регулює водний баланс екосистеми, захищає ґрунт від замулення та надмірного випаровування [22].

Трансформація мертвої органічної речовини – складний процес, що формується з фізичних, хімічних, фотохімічних та біохімічних реакцій. Процеси деструкції опаду відбуваються з різноманітною швидкістю в різних екосистемах залежно від конкретних умов мікроклімату, зволоження, аерації, біохімічної активності, діяльності мікроорганізмів.

За умов антропогенної дигресії внаслідок екосистемного стресу об'єм детритного блоку спочатку зростає, концентруються і нагромаджуються гумати в гумусоаккумулятивному горизонті ґрунту, стрімко звужується співвідношення С:N.

На наступних стадіях дигресії реалізуються буферні механізми у підстилці, зокрема гумусний стан ґрунтів наближається до характерних пропорцій вуглецевмісних речовин, властивих ґрунтам корінних угруповань. У разі глибинної деградації екосистеми швидка мінералізація органічних сполук відбувається на тлі азотного збагачення верхнього шару ґрунту. У межах норми реакції екосистеми щодо зовнішніх збурень (на фіксованій стадії дигресії) провідні хімічні властивості ґрунту зберігаються за рахунок компенсуючої дії динамічних перебудов у підстилці [13].

Підстилка у степах становить приблизно 38 % від усієї фітомаси [1; 6; 9]. Акумулятована маса підстилки може бути зменшена за рахунок фізичної та хімічної деградації, гетеротрофного споживання та розкладу. Ці процеси взаємопов'язані. Процес розкладу підстилки є найважливішим і доволі детально вивченим. Характер розкладу пороховано для різних субстратів у багатьох різних середовищах [15]. Підстилка розкладається в більшості випадків за рахунок грибів, оскільки вони більш резистентні до середовища, ніж бактерії, але сам процес розкладу відбувається повільніше, оскільки для грибів лімітувальним фактором є азот та підвищена лужність ґрунту [18]. Розклад підстилки в степах підсилює доступність поживних речовин для рослин, що сприяє інтенсивнішому їх розвитку [19]. Накопичена підстилка в степових екосистемах може також зменшити втрати амонійного нітрогену [17; 20], а відтак міграцію нітрогену і змінити хімічний склад води при проникненні її в ґрунт [19].

В умовах дефіциту опадів, високого рН ґрунту (>7), підстилка розкладається протягом 9–11 місяців. Фітомаса степових видів (враховуючи їхню підземну частину) оновлюється кожні 2–3 роки, тобто в 9 разів швидше, ніж у цілому на суші, і в 12 разів швидше, ніж у лісах. Низький показник накопичення енергії у надземній фітомасі компенсується її значним нагромадженням у ґрунті [2].

Зниження запасу підстилки свідчить, як правило, про інтенсивніший кругообіг речовин, що відбувається за умов зростання трофності або зменшення вологості. Антропогенний вплив також може спричинити зменшення її запасу. Якщо за природного процесу інтенсифікації розпаду підстилки відбуваються певні компенсаційні процеси, зокрема зростання маси коріння у підстильці та гумусово-акумулятивному горизонті ґрунту, то антропогенна активація розкладу найчастіше буває некомпенсованою і дефіцит органічної речовини призводить до посилення ерозії ґрунтової поверхні і порушення виробленого для даних умов процесу гумусоутворення. Різниця між параметрами запасу підстилки навесні та восени вказує на оптимальний розмір рослинного опаду, який має бути у стабілізованому угрупованні, щоби забезпечити існуючий баланс речовин у біоциклі екосистеми [13].

Отже, підстилка виконує такі екологічні функції, які забезпечують організацію екосистеми як цілісного природного утворення. Трансформація підстилки, детритні перетворення є функціональною та емерджентною властивістю природних комплексів на екосистемному рівні організації, що супроводжується перетворенням органічних речовин на мінералізовані і забезпечує біогеоценологічний кругообіг речовин та елементів, трансформацію енергії. Тому розуміння процесів, які відбуваються з підстилкою, характеру її перетворень, сезонної динаміки є дуже актуальним і потребує досліджень. Особливої уваги потребує вивчення і прогнозування змін у характері детритних перетворень у зв'язку з можливими впливами глобальних змін клімату.

Об'єкт та методи дослідження

Дослідження проводилися на базі стаціонару, що розташований на степовому плато в Карадазькому природному заповіднику. Стаціонар закладено у 2011 р. з метою дослідження впливу зміни кількості опадів на функціонування степової екосистеми, зокрема на перебіг вуглецевого циклу [3]. Він являє собою 18 дослідних і 3 контрольні ділянки, розташовані в межах

степового фітоценозу і на яких за допомогою спеціальних конструкцій відбувається перерозподіл кількості атмосферних опадів відповідно до шести типів експерименту (+60, +40, +20, -60, -40, -20 % від норми).

Метою роботи було дослідження особливостей сезонної динаміки накопичення зеленої та розкладу відмерлої біомаси у степових екосистемах, зокрема ролі змін кліматичних параметрів навколишнього середовища у цих перетвореннях.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- простежити річну динаміку перетворень надземної біомаси та встановити період її найбільш інтенсивного розкладу та наростання;
- встановити, які процеси найсильніше впливають на інтенсифікацію розкладу підстилки;
- встановити кореляційні зв'язки між енергетичним запасом різних фракцій біомаси та параметрами навколишнього середовища.

Об'єктами досліджень були зелена маса – цьогорічна надземна вегетативна маса рослин із ще не зруйнованим хлорофілом; опад – надземна вегетативна маса рослин, що вже відмерла, але ще перебуває у вертикальному стані; підстилка – надземна вегетативна маса рослин, яка вже перебуває на поверхні землі і включає напіврозкладену фракцію – детрит. Опад і підстилка загалом становлять мортмасу, тобто відмерлу вегетативну масу рослин.

Для оцінки запасу біомаси використовувався стандартний метод укосів та висушування. Збір проб на контрольних ділянках проводився чотири рази на рік: у березні, червні, вересні та грудні, з площі 0,25 м². На дослідних ділянках комплексних досліджень збір проводився у червні 2013 р. з усіх ділянок та в грудні 2013 р. лише з ділянок з найбільшим рівнем модифікації опадів (+60 % та -60 %) з площі 0,075 м², оскільки невеликий розмір дослідних ділянок не дозволяє проводити збір частіше без ризику вчинення впливу на екосистему. У лабораторії біомаса розділялася на фракції і висушувалася до стабільних показників маси. У деякі місяці збору неможливо було відділити фракцію опаду від підстилки (обидві фракції на ділянках на момент збору перебували на поверхні ґрунту в змішаному стані), тоді вага цих фракцій визначалася сукупно. Масу сухої речовини переводили в показники енергії: 1 г сухої речовини = 18 тис. Дж [8]. Масив зібраних даних охоплює період від грудня 2012 р. по березень 2014 р., тобто, по суті, характеризує лише початковий стан експерименту.

На відміну від прийнятих у метеорології показників клімату, для оцінки його впливу на рослинний покрив використовують показники

гідротермічного режиму (взаємозалежності між температурою та опадами), прямих одиниць виміру якого не існує. Щоб візуально оцінити значення гідротермічного режиму для рослинного покриву використовувався метод побудови клімадіаграм Госсена–Вальтера [7]. Для кількісної оцінки такого впливу проведено розрахунки омброрежиму (аридності-гумідності клімату) як одного з найважливіших екологічних чинників, який залежить від температури, вологості повітря і ґрунту, кількості опадів, стоку, випаровування і транспірації, тобто відображає гідротермічний режим [4; 5; 7]. Омброрежим визначався як різниця річної кількості атмосферних опадів (W) і випаровування (E_0) за методом М. М. Іванова (1975), як потенційно можливе за певних кліматичних умов випаровування з підстилаючої поверхні, вологозапаси якої обмежені :

$$Om = W - E_0,$$

$$E_0 = 0,0018 \times (t + 25)^2 \times (100 - f), \text{ мм},$$

де t – середньомісячна температура ($^{\circ}\text{C}$); f – відносна вологість повітря (%). E_0 розраховується для кожного місяця окремо, а потім підсумовується за рік [5].

Показники омброрежиму змінюються від гіпераридного (< -2200 мм) до гіпергумідного (> 2000 мм) клімату. В Україні цей показник коливається від семіомброфітного (1000 мм) у Карпатах до мезоаридофітного (-700 мм) на Південному березі Криму, тобто охоплює 35 % шкали [4]. Для Карадагу середній багаторічний показник омброрежиму становить -637 мм.

Для проведення оцінки впливу кліматичних факторів, у тому числі і їхньої комплексної дії, на показники сезонної динаміки накопичення і розкладу біомаси було використано метод коре-

ляційного аналізу та факторний аналіз (метод головних компонент). Оскільки тест на нормальний розподіл показав, що всі дані, використані для аналізу, розподілені ненормально, був використаний непараметричний метод кореляції (коefficient кореляції Спірмена). Як такі, що мають гіпотетичний вплив, було обрано параметри (кожен з яких обраховувався протягом 90 діб, що передували даті збору проб): сукупна кількість опадів, середня температура повітря, максимальна тривалість періоду без опадів, кількість посух більше 10, 15, 20 днів, кількість днів з опадами, середня кількість опадів на одну метеорологічну подію, омброрежим. Метеорологічні дані були завантажені з відкритого архіву метеоспостережень [10] і є даними з Карадазької науково-дослідної геофізичної обсерваторії (КНДГО), яка розташована на відстані 750 м від дослідного стаціонару.

Результати та обговорення

Характеристика гідротермічного режиму

За архівними даними КНДГО було побудовано клімадіаграми Госсена–Вальтера, що відображають гідротермічний режим упродовж трьох років дії експерименту: 2011 (рис. 1), 2012 (рис. 2) та 2013 (рис. 3), із яких видно специфіку зміни терморежиму кожного року. Ці три роки за показниками опадів були не характерні для Карадагу, бо спостерігався весняний дефіцит опадів, який влітку порушувався дощовим періодом, тоді як з другої половини червня в нормі повинен наступати період посухи. Натомість посушливий період був приурочений до липня (серпня) – вересня. Отже,

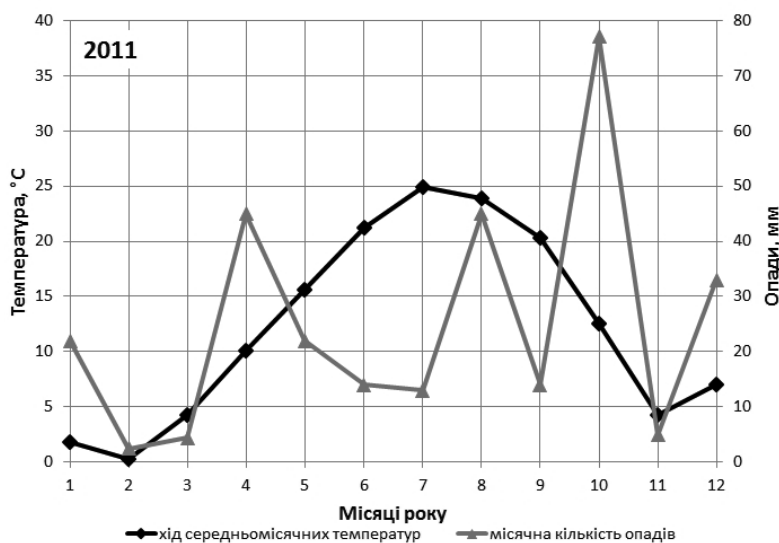


Рис. 1. Клімадіаграма Госсена–Вальтера для 2011 р.

реальний період посухи (2011 р. – середина травня – вересень; 2012 і 2013 рр. – квітень – жовтень/листопад) переривався дощовим серпнем у 2011 і 2012 рр. та червнем у 2013 р., що сповільнювало реакцію всихання рослин.

У 2011 р., коли було закладено дослідний стаціонар, спостерігалось дві посухи: у червні – липні і ще одна, нетривала, у вересні. Натомість у жовтні нестача вологості за попередній період компенсувалася великим піком опадів, що досягли 80 мм. Це перехідний період, протягом якого суттєвих екосистемних змін на ділянках з різним режимом вологості не відбувалось, але такий перерозподіл важливий для вегетації рослин у наступному році.

У 2012 р. спостерігалось два посушливі періоди: один довготривалий – з квітня по липень,

другий – з вересня по жовтень. Два періоди посух розділені піком опадів у серпні, коли випало більше 80 мм опадів, що не характерно для Карадагу.

У 2013 р. також спостерігалось дві посухи, схожі до попередніх років: одна – з квітня по травень, друга – з липня по вересень. Однак з’являється ще невеликий третій відносно посушливий період у листопаді. Протягом червня випало більше 125 мм, що компенсувало майже повну аномальну їх відсутність у весняний період.

Помісячні показники випаровуваності та омброрежиму за період досліджень показано на рис. 4. Очевидно, що майже у всі місяці року теоретичний рівень випаровуваності (з поверхні, не вкритої рослинним покривом) перевищує рівень опадів, тобто потенційно наявні аридні

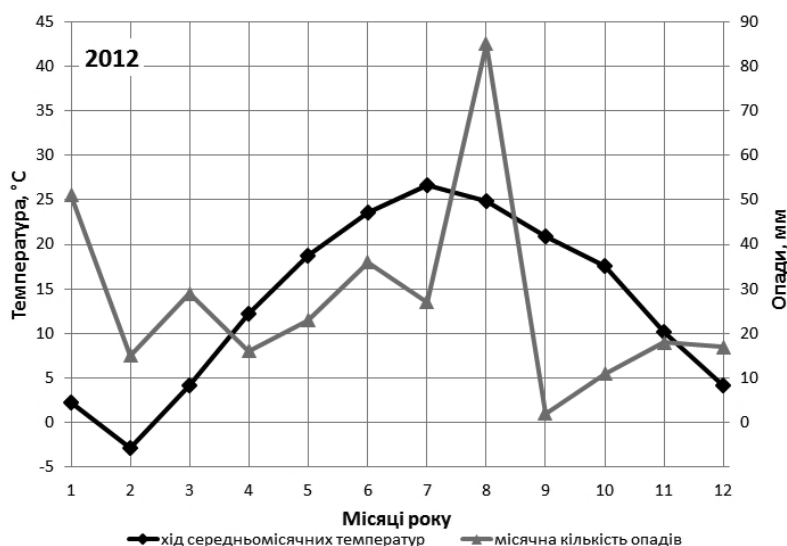


Рис. 2. Клімадіаграма Госсена-Вальтера для 2012 р.

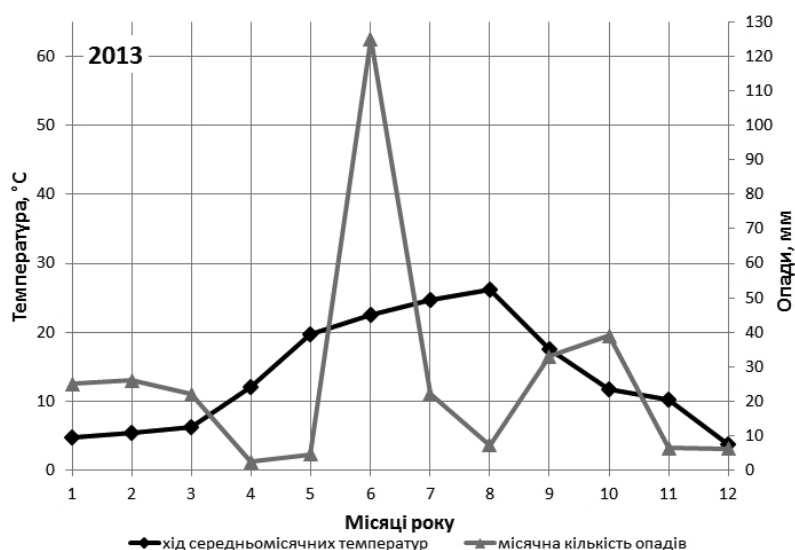


Рис. 3. Клімадіаграма Госсена-Вальтера для 2013 р.

умови гідротермічного режиму. Показники омброрежиму становили відповідно -775 , -815 та -825 , що нижчі за багаторічні (-637) і свідчать про аридизацію клімату. Це ще раз доводить велике значення рослинного покриву, а особливо підстилки для затримки вологи в ґрунті і нормального функціонування степової екосистеми в кліматичних умовах Карадагу.

Динаміка енергетичного запасу рослинної біомаси

Характер динаміки енергетичного запасу рослинної біомаси на контрольних ділянках, з яких упродовж шести кварталів систематично проводився відбір даних, показано на рис. 5. Фракцію опаду подано разом із підстилкою

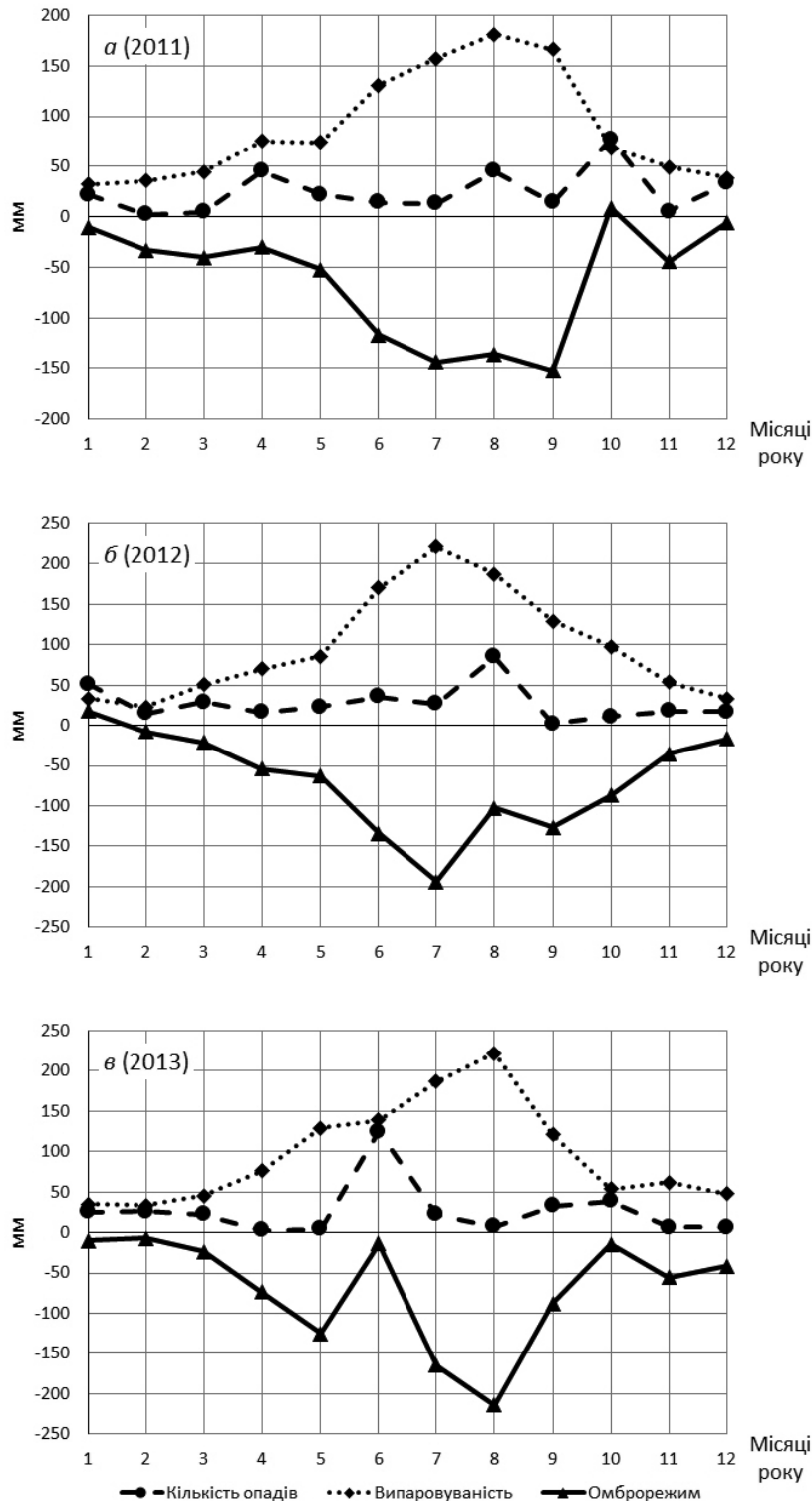


Рис. 4. Помісячні показники кількості опадів, випаровуваності та омброрежиму: а – у 2011 р.; б – у 2012 р.; в – у 2013 р.

(сукупна мортмаса), оскільки у низці сезонних відборів ці дві фракції неможливо було розрізнити. Закономірно, що найбільший приріст зеленої маси відбувається з весни до літа, з піком у середині червня, перед тим, як закінчується вегетація ефемерів-однорічників (*Dasyrium villosum* (L.) P.Candary, *Aegilops triuncialis* L., *Lathyrus cicera* L., *Medicago minima* (L.) Bartal., *Trifolium campestre* Schreb., *T. leucanthum* M. Bieb.), що становлять близько половини видового складу [3] і 50–70 % біомаси. Особливістю є те, що вегетація продовжується і взимку, що характерно для саваноїдного типу рослинності Середземномор'я. Основу «зимової» зеленої маси становлять озимі ефемери-однорічники, в основному злаки, які проростають з цього річного насіння восени після закінчення періоду посухи і зимують у зеленому вигляді, хоча їхній ріст і сповільнюється до настання весни, коли середньодобові температури досягають порогових +10 °С. Динаміка накопичення та розкладу мертвої маси нерівномірна протягом року. На початок періоду спостережень відмічено значний запас мертвої маси, що, вірогідно, є наслідком бурхливої вегетації рослин у кінці літа 2012 р., стимульованої випадінням аномальної кількості опадів і «зривом» періоду посухи. Особливо інтенсивно розкладання мертвої органічної маси відбувалося в період з березня по червень 2013 р., коли розклалося більше половини всього запасу мертвої маси, і ці темпи розкладу корелюють з інтенсивністю ґрунтового дихання, що вимірювалося в рамках того ж проекту і показники якого наведено в роботі О. О. Халаїм та І. Г. Вишенської [12]. Ґрунтове дихання розглядається як «екосистемно-

специфічна величина, що детермінується комплексом біотичних (структурою автотрофного блоку, кількісним і якісним складом ґрунтової біоти) й абіотичних (гідротермічним режимом, фізичними й фізико-хімічними властивостями ґрунтів, тривалістю періоду біотичної активності) факторів» [14]. Таким чином, дихання ґрунту – це показник, що може інтегрально характеризувати як інтенсивність процесів продукції екосистеми (дихання автотрофів та гетеротрофів), так і деструкційних процесів розкладу підстилки [11]. Пікові значення ґрунтового дихання у 2013 р. спостерігалися у квітні, що, ймовірно, є результатом інтенсивних процесів розкладу мортмаси, і, пізніше, у липні, у відповідь на значну кількість опадів, що випали попереднього місяця.

У період з грудня 2012 р. по березень 2013 р. значного зменшення енергетичного запасу фракції мортмаси не відбулося, а навпаки, вона дещо поповнилася. Також не спостерігається значних темпів розкладу мортмаси і в другій половині року, з червня по грудень, а теж іде в основному її накопичення за рахунок відмирання ефемерів та багаторічників у період літньої посухи. Цікаво, що масштабний розклад мортмаси в наступному сезоні зсунувся з весняно-літнього сезону на зимово-весняний. Можливо, це могло бути викликано затяжним двотижневим періодом стабільних від'ємних температур, що спостерігався з кінця січня до початку лютого 2014 р. (і чого не спостерігалося в аналогічний період 2013 р., коли середньодобові температури не опускалися нижче 0 °С), що викликало механічну деструкцію детриту і в подальшому його швидку мінералізацію з настанням чергової хвилі тепла.

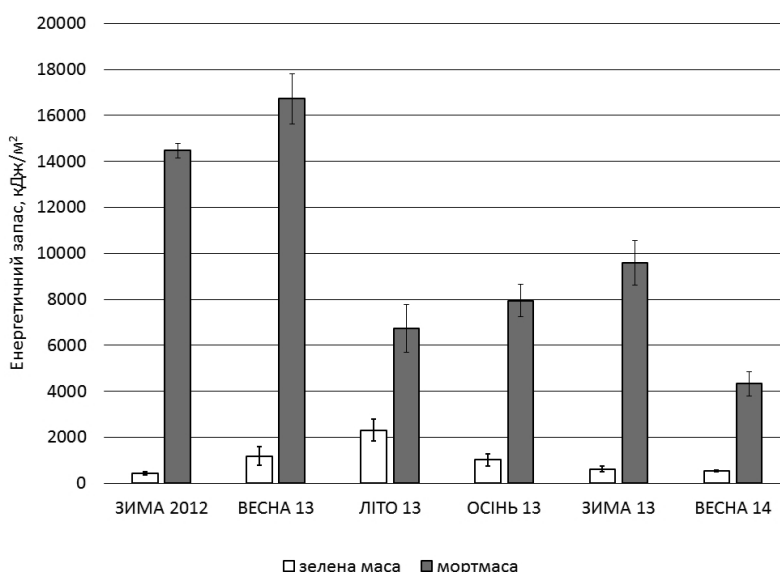


Рис. 5. Динаміка енергетичного запасу біомаси на контрольних ділянках

Кореляційний аналіз

Результати кореляційного аналізу з метою визначення зв'язку значень енергетичного запасу живої і мертвої надземної біомаси на контрольних ділянках з низкою кліматичних факторів наведено в таблиці 1. Жирним шрифтом позначено достовірні кореляції.

Між енергетичним запасом мортмаси та середньою кількістю опадів на одне випадання виявлено негативну кореляцію середньої сили. Отже, різке одномоментне збільшення вологості стимулює розклад біомаси в усі сезони. Однак ця закономірність порушується, якщо проаналізувати дані, отримані з ділянок, де відбувається модифікація опадів. Як бачимо з таблиці 2,

Таблиця 1. Значення коефіцієнтів кореляції Спірмена між значеннями кліматичних факторів та показниками енергетичного запасу біомаси різних фракцій, на основі аналізу даних з контрольних ділянок (без урахування модифікації опадів)

		Кількість опадів	Середня температура повітря	Кількість посух більше 10 днів	Кількість посух більше 15 днів	Кількість посух більше 20 днів	Тривалість максимального періоду без опадів	Кількість днів з опадами	Середня кількість опадів на одне випадання	Омброрежим
Зелена маса	r_s	,657**	,478*	-,774**	-,243	,099	,498	,014	,585**	-,101
	p	,001	,028	,000	,288	,670	,122	,952	,005	,663
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Морт-маса	r_s	-,302	-,298	-,029	,044	,336	-,071	,010	-,464*	,107
	p	,184	,190	,900	,851	,137	,758	,966	,034	,644
	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21

Примітка. r_s – коефіцієнт кореляції; p – показник рівня значимості; ** – кореляція достовірна на рівні значимості $p < 0,01$; * – кореляція достовірна на рівні значимості $p < 0,05$; N – об'єм вибірки.

Кореляційний аналіз масиву даних з контрольних ділянок виявив достовірний кореляційний зв'язок між показниками енергетичного запасу в біомасі та рядом кліматичних параметрів. Зокрема, відмічено досить сильний позитивний зв'язок між енергетичним запасом у зеленій фракції біомаси та загальною кількістю опадів, що випала в попередні 90 днів, а також цього ж показника із середньою кількістю опадів на одну метеорологічну подію. Відповідно, продуктивність (нарощення біомаси) фітоценозу напряму залежить від кількості опадів, що випали в попередній період, причому метеорологічні події з великою кількістю опадів (зливи) також мають стимулюючий вплив на ріст рослин. Водночас значні перерви у випаданні опадів (велика кількість посух тривалістю понад 10 днів), навпаки, пригнічують ріст зеленої маси (спостерігається сильний негативний кореляційний зв'язок). Також виявлено позитивний зв'язок середньої сили між енергетичним запасом у зеленій масі та середньою температурою повітря, що є логічним, оскільки температура, разом з режимом зволоження, має визначальний вплив на вегетацію.

навіть невеликі відхилення експерименту від контролю порушують кореляційний зв'язок між розкладом мортмаси і кількістю опадів – він зникає; він також відсутній при зміні кількості опадів $\pm 40\%$ та $\pm 60\%$. Причому виявлені раніше кореляційні зв'язки між енергетичним запасом зеленої фракції та кліматичними факторами стабільно зберігаються за будь-якого рівня модифікації опадів. Це свідчить про вплив самого факту штучної модифікації режиму опадів на процеси розкладу, адже значні відхилення кількості опадів від норми можуть запускати цілу низку складних процесів у екосистемі, що можуть опосередковано впливати на характер і темпи розкладу мортмаси і потребують додаткового вивчення (наприклад, зміну видового складу фітоценозу та мікробіологічного угруповання). Ця гіпотеза вимагає перевірки на більшому масиві даних, а отже, значної тривалості експерименту.

Відсутність явного впливу кількості опадів та пов'язаних з нею параметрів на розклад мертвої маси при значних (екстремальних) модифікаціях рівня опадів (-60% та $+60\%$ від норми) можна побачити, порівнявши показники енергетичного

Таблиця 2. Зміна коефіцієнтів кореляції між значеннями енергетичного запасу біомаси та деяких кліматичних факторів залежно від модифікації кількості опадів

Масив даних			Кількість опадів	Середня температура повітря	Кількість посух більше 10 днів	Середня кількість опадів на одне випадання
-20 %; контроль; +20 %	Зелена маса	r_s	,775**	,571**	-,799**	,742**
		p	,000	,002	,000	,000
		N	27	27	27	27
	Морт-маса	r_s	-,163	-,187	-,235	-,165
		p	,417	,351	,237	,412
		N	27	27	27	27
Усі рівні модифікацій кількості опадів	Зелена маса	r_s	,811**	,590**	-,754**	,802**
		p	,000	,000	,000	,000
		N	41	41	41	41
	Морт-маса	r_s	,203	-,072	-,243	,150
		p	,203	,653	,126	,419
		N	41	41	41	41

запасу біомаси в зеленій та мортмасі на таких ділянках з контролем (рис. 6 а, б). На ділянках з екстремальним рівнем додаткового зволоження відбувається значне накопичення мертвої маси. Але чи є це наслідком порушення процесів розкладу, стверджувати неможливо. Вірогідно, у таких умовах іде активне поповнення фракції мортмаси за рахунок відмирання великої кількості зеленої маси, і цей процес компенсує втрати від розкладу. Для підтвердження цієї гіпотези необхідно змінити методику збору даних. На жаль, ні влітку, ні взимку 2013 р. не було можливості відібрати окремо фракцію опадів і підстилки, адже значний процент фракції опадів відносно загальної кількості мертвої аргументував би на користь цієї гіпотези.

Аналіз головних компонент

З метою оцінки комбінованої дії кліматичних факторів на енергетичний запас у різних фракціях рослинної біомаси було застосовано метод багатовимірного факторіального аналізу, а саме аналіз головних компонент (АГК). Для АГК використано ті самі параметри, що й для кореляційного аналізу, окрім середньої кількості опадів на одне випадання (оскільки цей параметр надто коваріює із загальною кількістю опадів і є неприйнятним згідно з умовами застосування АГК) та максимальною тривалістю періоду без опадів (оскільки цей параметр являє собою радше випадкову величину і має випадкову кореляцію з деякими параметрами, зокрема кількістю

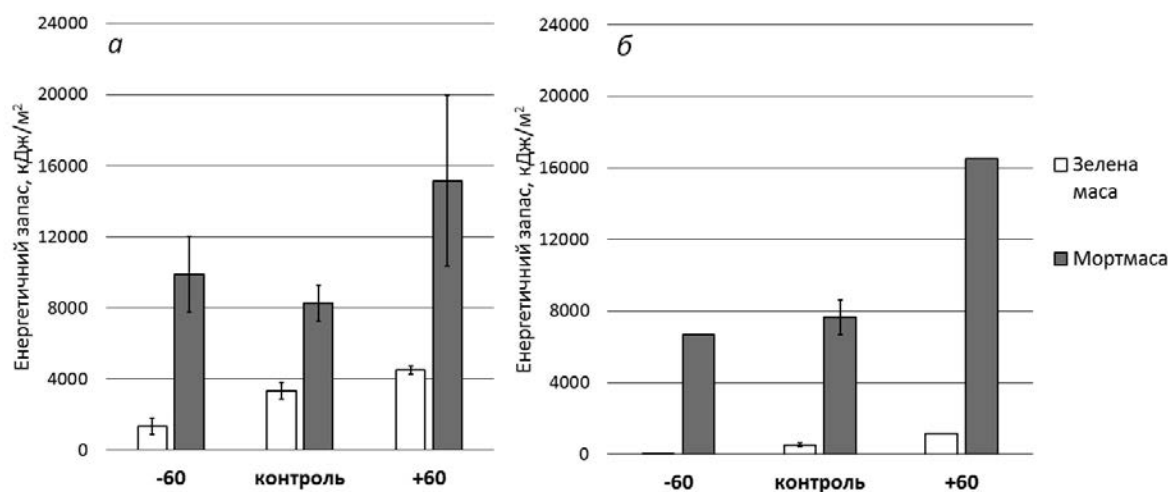


Рис. 6. Енергетичний запас у різних фракціях біомаси на ділянках з екстремальними відхиленнями кількості опадів у порівнянні з контролем: а – літо 2013 р., б – зима 2013 р.

Таблиця 3. Матриця головних компонент

	Компонента		
	1 (35,4 % дисперсії)	2 (31,9 % дисперсії)	3 (13,5 % дисперсії)
Зелена маса	,132	,856	,341
Мортмаса	-,143	,174	,734
Кількість опадів	-,054	,712	,452
Середня температура повітря	,918	,359	-,030
Кількість посух > 10 днів	,145	-, 943	,021
Кількість посух > 15 днів	,729	-, 494	,116
Кількість посух > 20 днів	,464	,190	,679
Кількість днів з опадами	-, 823	,258	-,280
Омброрежим	-, 829	,013	,450

опадів). Для АГК ми використали увесь масив даних, що включає ділянки з модифікацією опадів. Для більшої структурованості результату використано метод обертання варімакс з нормалізацією Кайзера. Результати АГК представлено в таблиці 3.

Таким чином, перша компонента, що відповідає за 35,4 % дисперсії вибірки, не пояснює варіації енергетичного запасу в біомасі, а радше є комплексним показником сухості клімату, оскільки найбільший внесок у неї мають середня температура повітря, кількість тривалих посух, та, з від'ємними знаками, кількість днів з опадами та омброрежим. Друга компонента відповідає за 31,9 % дисперсії даних і краще пояснює, з чим може бути пов'язаний енергетичний запас у зеленій масі: пряма залежність – з кількістю опадів, і обернена – з кількістю посух тривалістю понад 10 та 15 днів. Третя компонента якоюсь мірою пояснює, що великий енергетичний запас у мортмасі може бути пов'язаний з дуже тривалими посухами (коли мікробіотичне угруповання зазнає значного стресу і розклад, таким чином, відсутній), але водночас при більшій кількості опадів і підвищених показниках омброрежиму також енергетичний запас мортмаси може збільшуватись, імовірно, через більшу кількість зеленої маси, яка активно відмирає. Очевидно, що залежність енергетичного запасу мортмаси від кількості опадів нелінійна, швидше відіграє роль їхній режим (частота, сезонність). Відповідно, результати аналізу головних компонент у загальних рисах збігаються з результатами кореляційного аналізу і показують, що першочерговий вплив на приріст зеленої маси справляють такі погодні умови, коли випадає достатня кількість опадів та відсутні тривалі посухи. Разом з тим накопичення мортмаси відбувається як за дефіциту опадів (затримується розклад), так і за їхньої надмірної кількості (коли йде активне поповнення за рахунок відмирання зеленої маси).

Однак останній висновок має середню надійність, оскільки лише 13,5 % дисперсії даних пояснюється впливом третьої компоненти.

Висновки

1. Встановлено, що найінтенсивніший розклад мортмаси (підстилки та опаду), так само, як і приріст зеленої маси, відбувається у весняний період (з середини березня по середину червня). Період інтенсивного розкладу підстилки збігається з періодом найактивнішого ґрунтового дихання, що пов'язано з діяльністю мікроорганізмів-редуцентів.
2. Продуктивність (нарощення біомаси) фітоценозу безпосередньо залежить від кількості опадів, що випали в попередній період. Причому метеорологічні події з великою кількістю опадів (зливи) мають стимулюючий вплив на ріст рослин, а значні перерви між опадами (велика кількість посух тривалістю понад 10 днів), навпаки, пригнічують ріст зеленої маси. Ця тенденція зберігається в усі сезони, а також при екстремальних рівнях модифікації опадів і в один, і в інший бік.
3. Темпи та об'єми розкладу мортмаси залежать від кількості опадів нелінійно. З одного боку, тривалі посухи затримують розклад мортмаси, тоді як надмірна кількість опадів та високі показники омброрежиму, хоча й активізують розклад, призводять до активного поповнення фракції мортмаси за рахунок відмирання зеленої маси. Однак очевидно, що на цей процес впливають і інші, ще не встановлені фактори. Процес формування і розклад мортмаси виявився дуже чутливим до самого фактора експерименту, коли кількість опадів штучно модифікувалася аж до понаднормових відхилень, яких не буває у звичайних природних умовах. За значних відхилень від норми на формування і розклад мортмаси, ймовірно, починають впливати інші причини, що можуть включати, в тому числі, зміну

видового складу і порушення адаптивності бактеріального та мікобіотичного угруповання, що потребує додаткового вивчення.

Це дослідження проведено в рамках наукової бюджетної теми «Прогнозування реакції

вуглецевого циклу степових екосистем України на зміни кількості опадів» (реєстраційний номер в УкрІНТЕІ: 0113U002487), що виконується Центром досліджень екосистем, змін клімату та сталого розвитку НАУКМА.

Список літератури

1. Базилевич Н. И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии / Н. И. Базилевич. – М. : Наука, 1993. – 293 с.
2. Дідух Я. П. Теоретичні підходи до створення класифікації екосистем / Я. П. Дідух // Укр. фітоцен. зб. – К., 2005. – Сер. С. Фітоекологія. – Вип. 23. – С. 3–15.
3. Дідух Я. П. Реакція трав'яних угруповань на штучну зміну кількості опадів у Карадазькому природному заповіднику: вихідний стан експерименту / Я. П. Дідух, О. Л. Кузьманенко // УБЖ. – 2013 – Т. 70. – № 1. – С. 3–15.
4. Екофлора України / Я. П. Дідух, П. Г. Плюта, В. В. Протопопова, В. М. Єрмоленко та ін. ; [відпов. ред. Я. П. Дідух]. – К. : Фітосоціоцентр, 2000. – Т. 1. – 284 с.
5. Константинов А. Р. Методика расчета радиационного баланса и эффективного излучения по температуре и влажности воздуха, измеренным на метеорологических станциях / А. Р. Константинов, Н. И. Гойса // Тр. Укр. науч.-исслед. гидрометеорол. ин-та. – 1963. – Вып. 35. – С. 62–72.
6. Лавренко Е. М. Степи Евразии / Е. М. Лавренко, З. В. Карамышева, Р. И. Никулина. – Л. : Наука, 1991. – 145 с.
7. Метод клімадіаграм за Госсеном–Вальтером : практичний порадник (для студентів II, III та V курсів денного й I та VI курсів заочного відділень за напрямом 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» спеціальності 8.040106 «Екологія і охорона навколишнього середовища») з дисциплін «Загальна екологія», «Загальна екологія і основи заповідної справи» та «Заповідна справа» / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва ; уклад. : О. І. Спірін. – Х. : ХНАМГ, 2012. – 38 с.
8. Одум Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М. : Мир, 1975. – 740 с.
9. Родин Л. Е. Динамика органического вещества и биологической продуктивности в основных типах растительности / Л. Е. Родин, Л. Н. Базилевич. – М.–Л. : Наука, 1965. – 253 с.
10. Розклад погоди [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://gr5.ua>. – Назва з екрана.
11. Сморгалов И. А. Почвенное дыхание лесных экосистем в градиентах загрязнения среды выбросами медеплавильных заводов / И. А. Сморгалов, Е. Л. Воробейчик // Экология. – 2011. – № 6. – С. 429–435.
12. 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. – 2013. – Т. 142 : Біологія та екологія. – С. 60–65.
13. Чорнобай Ю. М. Трансформація рослинного детриту в природних екосистемах / Ю. М. Чорнобай. – Львів : Вид-во ДПМ НАН України, 2000. – 352 с.
14. Шпаківська І. М. Дихання ґрунту в екосистемах бореального ряду на верхній межі лісу Чорногори (Українські Карпати) : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16 / І. М. Шпаківська ; Дніпропетр. нац. ун-г. – Д., 2004. – 20 с.
15. Andren O. Barley straw decomposition in the field: A comparison of models / O. Andren, K. Paustian // Ecology. – 1987. – No. 68. – P. 1190–1200.
16. Dix R. L. The effect of burning on the mulch structure and species composition in grasslands in western South Dakota / R. L. Dix // Ecology. – 1960. – No. 41. – P. 49–56.
17. Dyksterhuis E. D. Natural mulches or "litter" of grasslands, with kinds and amounts on a southern prairie / E. D. Dyksterhuis, E. M. Schmutz // Ecology. – 1947. – No. 28. – P. 163–179.
18. Holland E. A. Litter placement effects on microbial and organic matter dynamics in an agroecosystem / E. A. Holland, D. C. Coleman // Ecology. – 1987. – No. 68. – P. 425–433.
19. Knapp A. K. Detritus accumulation limits productivity of tallgrass prairie / A. K. Knapp, T. R. Seastedt // BioScience. – 1986. – No. 36. – P. 622–668.
20. Pastor J. Little bluestem litter dynamics in Minnesota oldfields / J. Pastor, M. A. Stillwell, D. Tilman // Oecologia. – 1987. – No. 72. – P. 327–330.
21. A Comprehensive Sampling and Computing Procedure for Estimating Pasture Yield and Composition. 1. Field Sampling / J. C. Tothill, J. N. G. Hargreaves, R. M. Jones, C. K. McDonald // Botanal. Tropical Agronomy Technical Memorandum. – 1992. – No. 78. – 24 p.
22. Wildung R. E. The Independent Effects of Soil Temperature and Water Content on Soil Respiration Rate and Plant Root Decomposition in Arid Grassland Soils / R. E. Wildung, T. R. Gauland, R. L. Buschbom // Soil Biol. Biochem. – Pergamon Press, 1975. – Vol. 7. – P. 373–378.

O. Kachalova, K. Norenko, Ya. Didukh

IMPACT OF CLIMATE FACTORS ON ACCUMULATION AND DECOMPOSITION OF ABOVEGROUND PLANT BIOMASS IN STEPPE PHYTOCENOSSES OF KARADAG NATURE RESERVE

This paper presents the results of studying the impact of some environmental factors and their experimental modification on accumulation and decomposition of aboveground phytomass in steppe plant communities of Karadag Nature Reserve. The seasonal dynamics of aboveground biomass growth and transformation has been discussed. Correlation analysis and PCA have been used to find the relationships between climatic factors and energy stock in different phytomass fractions. These results have important prognostic value for modeling the response of biogeochemical cycles, including the carbon cycle, to global and local climate change.

Keywords: climate, biological productivity, phytomass destruction, steppe, energy stock, open-air manipulative experiment, Karadag Nature Reserve.

Матеріал надійшов 15.06.2014