



УДК 633.873:[551.577.13+504.7]

ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУР ПОВІТРЯ ТА КИСЛОТНИХ ДОЩІВ НА ПРОЦЕС НЕКРОТИЗАЦІЇ ЛИСТКІВ РОСЛИН ДУБА ЗВИЧАЙНОГО (*Quercus robur* L.) ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОКОСМНИХ МОДЕЛЕЙ

Є.Г. Махрова, кандидат біологічних наук
С.С. Руденко, доктор біологічних наук

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

Доведено ефективність застосування штучних екосистем "мікрокосмів" для оцінки і прогнозування наслідків впливу підвищених температур та кислотних дощів на лісові екосистеми регіонів. Мікрокосмна модель передбачає вмонтування самосіву лісотвірних порід із ґрунтом, детритом і опадом у 5-літрові бутлі та керовану дослідником імітацію режиму освітлення, температури та опадів. Показано, що зниження рН опадів до 2 або підвищення температури до 40°C може призвести до високого рівня дефоліації у самосіву дуба звичайного на тлі екологічних факторів, характерних для умов зростання в Чернівецькій області. Натомість, "кислотний дощ" з рН 3 спричинятиме інтенсивну некротизацію листків дуба звичайного.

Вступ. На протязі останніх 18 років кислотність вологих атмосферних опадів, навіть у Чернівецькій області, характеризувалася лінійним трендом від рН 7,1 до рН 6,0, а в період 2002–2006 рр. було зафіксовано зростаючу тенденцію до різкого закислення опадів із мінімальним значенням рН 5,05 у травні 2004 р. [1]. У межах України вже зареєстровано території, де середнє значення рН атмосферних опадів за 1996–2005 рр. було меншим за 6,6 [2]. Зазначені зміни віддзеркалюють і загальносвітову тенденцію [3].

Не менш загрозливим для сучасних екосистем є прогресуюче підвищення річних температур внаслідок так званого "парникового ефекту". Встановлено, що в Україні середньорічна температура за

останні десять років підвищилася на 0,3–0,6°C [2, 4]. За даними відділу кліматичних досліджень та довгострокових прогнозів УкрНДДГМІ зазначене підвищення мало зональний характер: 0,5°C – у Степу, 0,8°C – у Лісостепу, 1,0°C – на Поліссі. У 2001 та 2002 рр. аномалія температури утримувалася 10–11 місяців [5].

У світлі зазначеного актуальною видається проблема пошуку методів виявлення та прогонування реакцій біоти, в т. ч. деревних видів рослин, на дію підвищених температур та кислотних опадів [6, 7]. У природних умовах надзвичайно важко довести причетність того чи іншого антропогенного фактора до будь-яких морфо-фізіологічних змін рослин. Аби виявити специфічність реакцій рослин саме на кислотний дощ, або під-

вишену температуру, метод простого спостереження не є достатнім. Надати цю можливість можуть такі методи дослідження, як експеримент та моделювання. Одним із можливих напрямків дослідження впливу антропогенних чинників на деревні рослини, що поєднує обидва ці методи, є вивчення змін рослин за імітації ефектів техногенних явищ у штучних екосистемах – мікрокосмах [8]. Саме технологія мікрокосмів дає можливість передбачити зміни, які в природних умовах змодельовати практично неможливо. Для виготовлення мікрокосмів використовують PET-пляшки, утилізація яких є проблемою для України.

Матеріали та методи досліджень.

Прототипом мікрокосмних моделей слугувала штучна екосистема Вен Вораїса [9], дещо модифікована нами для імітаційних досліджень (рис. 1).

Матеріал досліджень – трирічний самосів дуба звичайного (*Quercus robur L.*), відібраний разом з ґрунтом, опадом та трав'яними рослинами у найменш трансформованому антропогенною діяльністю лісостані (Хотинська височина, Чернівецька обл.). В умовах лабораторії здійснювали формування монокультурних мікрокосмів. Фотоперіод регулювали за допомогою реле часу. Світловий період тривав 16 год, темновий – 8 год, що приблизно відповідає тривалості світлового дня липня у помірних широтах.

Тривалість експерименту становила 30 діб, в процесі якого рослини піддавались впливу імітованих кислотних "дощів" із рН 3 та рН 2 у кількості по 50 мл 2 рази на тиждень. Відповідних значень кислотності досягали додаванням до дистильованої води концентрованих розчинів сульфатної та нітратної кислот.

Підвищені температура – 30 та 40°C імітували за допомогою термостатів, у які поміщали рослини на темновий пері-

од доби. Такі значення температур обирали з урахуванням динаміки світових змін зазначених негативних факторів. Для порівняння також створювали контрольні мікрокосми, де рослини піддавали впливу близького до нейтрального "дощу" з рН 6,5 за температури 22–25°C.

Методика дослідження відсотку площі некротизації листків. Показник досліджували для листків, закладених до початку впливу імітованих стресових чинників. Листки з проявами некротизації розпрямовували, клали на кальку і вписували у прямокутник, площу котрого визначали як добуток ширини і довжини. Цей прямокутник вирізали з кальки і зважували на електронній вазі "AXIS AD-600". Потім знову накладали листок на вирізаний прямокутник і в ньому окреслювали контур листка. Окреслену фігуру вирізали і

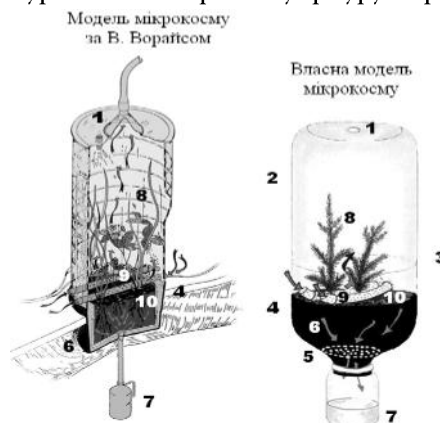


Рис. 1. Загальний вигляд мікрокосмних екосистем (модель В. Вораїса [9] та власна модель [10]):

- 1 - отвір для розсікача імітованих опадів,
- 2 - кришка моделі,
- 3 - шов з'єднання кришки з лійкою,
- 4 - лійка,
- 5 - дно лійки,
- 6 - непрозора ізоляція лійки,
- 7 - ємність для збору розчину, що стікає з дна ґрунтової колонки,
- 8 - рослини,
- 9 - аераційні трубки,
- 10 - ґрунт



зважували на тій же вазі. Далі на вирізаній з кальки фігурі листка окреслювали контури некротизованих ділянок і їх також вирізали й зважували. Площу визначали за формулою:

$$S_{л} = \frac{M_{л} \cdot S_{\text{прям}}}{M_{\text{прям}}}, \quad (1)$$

де $S_{л}$ – площа листка;
 $M_{л}$ – маса цього листка;
 $S_{\text{прям}}$ – площа прямокутника з кальки, у який вписано листок;
 $M_{\text{прям}}$ – маса цього прямокутника.
 Площу некротизації листка визначали за формулою:

$$S_{\text{некр}} = \frac{M_{\text{некр}} \cdot S_{л}}{M_{л}}, \quad (2)$$

де $S_{\text{некр}}$ – площа некротизації листка;
 $M_{\text{некр}}$ – маса некротизованих ділянок листка;
 $S_{л}$ – площа листка;
 $M_{л}$ – маса листка.
 Відсоток некротизації листка визначали за формулою:

$$S_{\text{некр}} \% = \frac{S_{\text{некр}}}{S_{л}} \cdot 100, \quad (3)$$

де $S_{\text{некр}} \%$ – відсоток площі некротизації листка;
 $S_{\text{некр}}$ – площа некротизації листка;
 $S_{л}$ – площа листка.

Для всіх експериментальних варіантів оцінювали відповідність розподілу ймовірностей дослідженого показника нормальному за критеріями Лілліфорса, Шапіро-Вілка та Колмагорова-Смірнова [11, 12]. Для перевірки правильності позитивного висновку стосовно невідповідності нормальному розподілу ймовірностей дослідженого показника застосовували додатковий контроль за допомогою коефіцієнта асиметрії (skewness) та ексцесу (kurtosis) [11, 12, 13, 14]. У разі, коли розподіл вибірки не був нормальним, зазначали медіану (Me) вибірки, середнє

значення (M), моду (Mo) та квартилі розподілу: 25 та 75%, а гіпотезу щодо приналежності порівнюваних сукупностей листків до однієї генеральної сукупності перевіряли за допомогою рангового критерію Манна-Вітні за рівня значущості $P < 0,05$. При порівнянні варіантів з розподілом, який не є нормальним, імперативним статистичним показником вважали медіану. Використовували програмне забезпечення Microsoft Office Excel 2007.Ink та STATISTICA 6.0.

Одночасно проводили дослідження стійкості самосіву за зміною такої фізіологічної тест-ознаки, як дефоліація. Оцінку здійснювали за відсотком прояву дефоліації у дерев одного експериментального варіанта.

Результати дослідження. Оскільки обсяг показників у сукупності листків для кожного із стрес-факторів не перевищував 50 (рис. 2), для аналізу нормальності розподілу ймовірностей показників застосовували критерій Шапіро-Вілка (рис. 3).

Гістограми розподілу ймовірностей відсотка площі некротизації листків дуба звичайного зображено на рис. 3. В усіх представлених варіантах за критерієм Шапіро-Вілка не було відповідності нормальному розподілу. Ми виходили з того, що коли $P < 0,05$, то розподіл кількісних ознак, оцінюваних за критерієм Шапіро-Вілка, приймається відмінним від нормального, а за $P > 0,05$ – наближеним до нормального.

Додатковий аналіз за допомогою критеріїв асиметрії та ексцесу показав їх відхилення від нуля, а також від'ємне значення ексцесу (тобто двовершинність графіка реального розподілу ймовірностей показника) (табл. 1). Дані факти також свідчать на користь відсутності нормального розподілу в цих варіантах.

Гіпотезу щодо приналежності порівнюваних генеральних сукупностей до однієї, загальнішої, або до генеральних су-

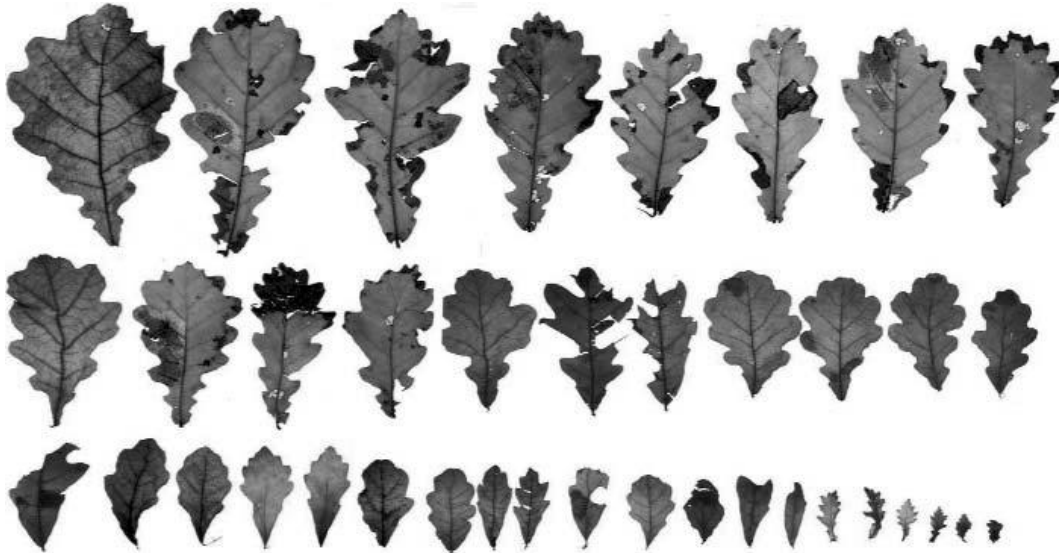


Рис. 2. Фотографічний матеріал дослідження листків дуба звичайного за дії температури 30°C у мікрокосмах

кушностей з однаковими параметрами перевіряли за допомогою рангового критерію Манна-Вітні (табл. 2). Відповідно до цього критерію вірогідну різницю, порівняно з контролем, виявлено в таких варіантах (табл. 1): кислотний дощ з рН 3 ($Me=1.818$); кислотний дощ з рН 2 ($Me=1.282$); підвищені температури, 30°C ($Me=12.698$).

При дослідженні стійкості самосіву за зміною такої фізіологічної тест-ознаки, як дефоліація, виявлено найбільший відсоток прояву у варіанті досліду, де імітували кислотні дощі з рН 2. Друге місце по силі впливу займав варіант досліду, де імітували підвищені температури 40°C (табл. 3).

Причиною порівняно низької некротизації листків за дії кислотного дощу з рН 2 та її відсутності за 40°C є інтенсивніша дефоліація в цих дослідних варіантах, тобто листки опадають і не встигають зазнати некротизації.

За О.І. Терек опадання листків у деревних рослин під час жарких, посушливих

днів сприяє збереженню вологи в рослині, оскільки листки виділяють її у великій кількості під час транспірації. Цей же автор наводить випадки опадання листків внаслідок пошкоджень листкових пластинок отрутохімікатами і пояснює їх порушенням гормонального балансу в листовому черешку і механічним закупорюванням провідної системи [15]. Очевидно, кислотні дощі чинять аналогічний вплив.

Висновки

Ступінь некротизації листків рослин дуба звичайного достовірно збільшується в ряду: кислотний дощ з рН 2 < кислотний дощ з рН 3 < підвищені температури, 30°C (найбільший вплив).

Причиною меншої некротизації листків за імітації кислотного дощу з рН 2, або її відсутності за підвищених температур з 40°C є інтенсивніша дефоліація – листки опадають і не встигають зазнати некротизації. Отже, дефоліація є неспецифічною реакцією деревних рослин на дію позапорогових чинників.

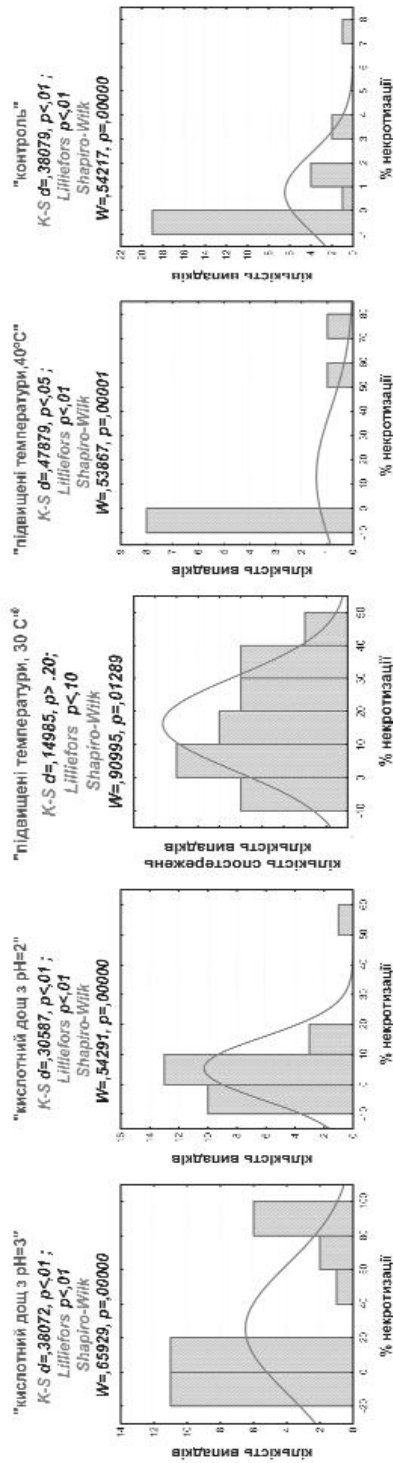


Рис. 3. Гістограми розподілу ймовірностей відсотка площі некротизації листків рослин дуба звичайного

Таблиця 1. Статистичний аналіз розподілу ймовірностей відсотка площі некротизації листків рослин дуба звичайного

Імітований чинник	Valid N	M	Confid. -95 %	Confid. +95 %	Me	Mo	Freq.	Min.	Max.	25 %	75 %	Std. Dev	Std. er.	Skew.	Kurt.
Контроль	27	0,765	0,106	1,425	0,000	0,000	19	0,000	7,143	0,000	1,042	1,667	0,320	2,774	8,159
Д з pH=3	31	25,273	11,289	39,257	1,818	0,000	11	0,000	100,000	0,000	61,257	38,124	6,847	1,094	-0,667
Д з pH=2	27	5,330	1,176	9,484	1,282	0,000	10	0,000	51,630	0,000	7,071	10,500	2,020	3,605	15,112
t=30°C	31	16,304	11,056	21,552	12,698	0,000	5	0,000	46,471	3,390	27,778	14,307	2,569	0,531	-0,938
t=40°C	10	12,993	-7,024	33,010	0,000	0,000	8	0,000	77,100	0,000	0,000	27,982	8,848	1,959	2,650



Таблиця 2. Оцінка відмінностей у розподілі ймовірностей відсотка площі некротизації листків рослин дуба звичайного у дослідних та контрольному варіантах за критерієм Манна-Вітні (U)

Імітований чинник	Rank Sum Gr. 1	Rank Sum Gr. 2	U	Z	P-level	Z adj.	p-level	Valid N Gr. 1	Valid N Gr. 2	2-tailed
Дош з рН 3	602,500	1108,500	224,500	-3,024	0,002	-3,257	0,001	27	31	0,002
Дош з рН 2	593,000	892,000	215,000	-2,586	0,009	-2,813	0,004	27	27	0,009
t30°C	478,500	1232,500	100,500	-4,957	0,000	-5,142	0,000	27	31	0,000
t40°C	518,000	185,000	130,000	0,171	0,864	0,218	0,826	27	10	0,879

Примітка: жирним виділено варіанти, де спостерігається достовірна різниця з контролем, $p < 0,05$

Таблиця 3. Масштабність дефоліації та ступінь некротизації (за Me) листків рослин дуба звичайного

Імітований чинник	Кількість дерев з дефоліацією, у % від загальної кількості дерев відповідного варіанту	Площі некротизації листків, %
Контроль	0	0
Дош з рН 3	0–25	1,818
Дош з рН 2	51–75	1,282
t30°C	0	12,698
t40°C	26–50	Достовірно не відрізняється від контролю

Література

1. Антонов В.С., Рыбак Л.Ю. Кислотность влажных атмосферных осадков в Черновцах. – Черновцы: Місто, 2007. – 74 с.
2. Національний атлас України / Наук. редкол.: Л. С. Руденко та ін. Інститут географії НАН України; Державна служба геодезії, картографії та кадастру. - К.: ДНВП "Картографія", 2007. – 440 с.
3. Acid News: a newsletter on Air Pollution and Climate / Editor: Christer –gren. – rebro, Sweden: Trio Tryck AB. – 2009. – №4. – 24 p.
4. Дідух Я.П. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: причини, наслідки, дії // Вісник НАН України: загальнонауковий та громадсько-політичний журнал. – 2009. – № 2. – С. 34–44.
5. Ткач Л.О. Комплексна оцінка сучасних кліматичних умов життєдіяльності людини на території України : Автореф. дис.... канд. геогр. наук: 11.00.11. – Чернівці, 2007. – 19 с.
6. Бессонова В.П., Дубова О.В., Іванченко О.Є. Зміна морфологічних показників троянд під впливом антиоксидантів за умов постійної дії промислового забруднення // Питання біоіндикації та екології. – 2008. – Вип. 13, № 1. – С. 9–18.
7. Коба В. П. Анатоми-морфологічні дослідження вегетативних органів *Pinus kochiana* Klotzsch у зв'язку з динамікою умов зростання // Укр. ботан. журн. – 2005. – 62, № 3. – С. 365–374.
8. Руденко С.С., Костишин С.С., Ситнікова І.О. Штучні системи в екології: Навч. посіб. для вищих навчальних закладів. – Чернівці: Рута, 2006. – 200 с.
9. Van Voris P., O'Neil R.V., Emanuel W.R., Shugart H.H. Functional complexity and ecosystem stability // Ecology. - 1980. – 61. – P. 1352–1360.
10. Махрова Е.Г., Руденко С.С. Микроекосистема – як біотест-система для дослідження впливу антропогенних факторів на біологічні комплекси // Матеріали П'ятого Московського міжнародного конгресу "Біотехнологія: стан і перспективи розвитку", Москва, Новий Арбат, 16 - 20 марта 2009 г., РХТУ ім. Д. И. Менделєєва. – М.: ЗАО "Экспо-биохим-технологии", 2009. – С. 416–417.



11. Лакин Г.Ф. Биометрия: Уч. пособие, изд.-е 4-е, переработанное и дополненное. — М.: Высшая школа, 1990. — 352 с.
12. Філімонова Н. Б., Філь І. О., Михайлова Т.С. Статистичний аналіз даних відповідно до засад науково обгрунтованої медицини (первинний аналіз кількісних даних, подання результатів експерименту) // *Методи математичної статистики*. — 2004. — №4. — С.85–93.
13. Fukuda H., Fukuda H., Ohashi Y. A Guideline for Reporting Results of Statistical Analysis in Japanese Journal of Clinical Oncology // *Japanese Journal of Clinical Oncology* — 1997. — **27**, №3. — P. 121–127.
14. Siegel S. Nonparametric statistics for the behavioural sciences N.Y.McGraw–Hill. — 1956. — 312 p.
15. Терек О.І. Ріст рослин: Навч. посіб. для вищих навчальних закладів. — Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2007. — 248 с.

АННОТАЦІЯ

Махрова Е.Г., Руденко С.С. Прогнозирование влияния повышенных температур и кислотных осадков на процесс некротизации листьев Quercus robur L. с помощью микрокосмных моделей // Биоресурсы и природопользование. — 2012. — 4, № 3–4. — С. 10–17.

Доказана ефективність використання штучних екосистем мікроекосмів для оцінки та прогнозування наслідків впливу підвищених температур та кислотних дощів на лісові екосистеми регіонів. Мікроекосмна модель передбачає вмонтування самосева лісообразуючих порід разом з ґрунтом, детритом та опадаючими частями в 5-літрові бутлї та регульовану дослідником імітацію режиму світлового дня, температур та опадів. Показано, що зниження кислотності опадів до рН 2 або підвищення температури до 40°С може привести до високого рівня дефоліації у самосева *Quercus robur L.* на фоні екологічних факторів, характерних для умов його вирощування в Чернівцькій області. Однак кислотний дощ з рН 3 є причиною інтенсивної некротизації його листків.

SUMMARY

E. Makhrova, S. Rudenko. Prediction of the influence of high temperature and acid precipitation on necrotization of Quercus robur L. leaves by the Microcosm models // Biological Resources and Nature Management. — 2012. — 4, № 3–4. — P. 10–17.

The efficiency of use of artificial ecosystems of microcosms for the assessing and prediction of influence effect of high temperature and acid precipitation on the regional forest ecosystems of have been demonstrated. Microcosm model is the following: mounting of the self-seeding forest-forming species including the soil, detritus and litter in the five liter capacity bottle, and the controlled imitation of illumination, temperature, and precipitation conditions. Current research shows that the precipitation acidity decrease by pH 2 or temperature increase by 40°C may produce the high defoliation level of the self-seeding plants of *Quercus robur L.* based on the ecological factors that are typical growth conditions for this species in Chernivtsi Region. Though acid precipitation with pH 3 causes an intensive necrotization of self-seeding plants.