

Кунах О. М., Жуков О. В.

Просторова структура біосистем

навчально-методичний посібник

для практичних робіт та самостійної роботи

Міністерство освіти і науки України
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Кунах О. М., Жуков О. В.

Просторова структура біосистем
навчально-методичний посібник
для практичних робіт та самостійної роботи

Дніпро 2025

ББК 20.1я73
УДК 005/502/504(03:04)/574
К-95

Рецензенти:

В. М. Яковенко, к.б.н., доцент кафедри екології Дніпровського державного аграрно-економічного університету.

К. К. Голобородько, д.б.н., проф., головний науковий співробітник НДІ Біології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

У навчально-методичному посібнику висвітлюються питання особливостей біології та екології представників рослинного і тваринного світу, які позначаються на особливостях просторової структури біосистем, розглядаються принципи і методи дослідження різних аспектів просторової структури, а також показників, які відображають стійкість біосистем. У посібнику наведено перелік питань, які, згідно з програмою дисципліни «Просторова структура біосистем», віднесені до самостійного вивчення здобувачів. Посібник розрахований на здобувачів вищої освіти природничих спеціальностей

Рекомендовано до друку вченою радою біолого-екологічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, протокол № 12 від 5 травня 2025 року

Кунах О.М., Жуков О.В.

К-95 Просторова структура біосистем: Навчально-методичний посібник для практичних робіт та самостійної роботи, - Дніпро, 2025. 34с.

ЗМІСТ

Практична робота № 1 Тема: методи визначення типу просторового розподілу особин.....	5
Практична робота № 2 Тема: дослідження особливостей випадкового типу просторового розподілу особин	10
Практична робота № 3 Тема: дослідження особливостей просторового розподілу і життєвого стану акації білої (<i>Robinia pseudoacacia L.</i>)	12
Практична робота № 4 Тема: дослідження особливостей просторового розподілу і життєвого стану клену гостролистого (<i>Acer platanoides</i>).....	16
Практична робота № 5 Тема: візуалізація просторового розміщення дерев у міському парку	21
Практична робота № 6 Тема: графічне відображення матриці дистанцій між деревами в екологічному просторі за допомогою графів	28
Питання для самостійної роботи.....	34

Практична робота № 1

Тема: методи визначення типу просторового розподілу особин

Організми не зустрічаються в просторі випадковим чином. Будь-який вид рослин чи тварин може зустрічатись в одних місцях, тоді як в інших він повністю відсутній. Так само особини одного виду розподілені відносно одна одної за певними закономірностями. Причин очевидної не випадковості патернів просторового розподілу організмів багато, і ці патерни є результатом процесів, що діють протягом усього життєвого циклу організму і в різних просторових масштабах. Хоча ця просторова структура популяцій часто ігнорується, але вона має глибокі наслідки для розуміння біологічних процесів: взаємодія між особинами і між видами відбувається як у просторі, так і в часі, і розуміння просторових закономірностей є основою для розуміння реальних екологічних процесів. Дійсно, закономірності просторового розподілу відіграють важливу роль у формуванні широкого спектру динаміки організмів, таких як внутрішньовидова і міжвидова конкуренція, системи спарювання, хижацтво, популяційна генетика і поширення інфекційних хвороб (Vorregaard et al., 2008).

Встановлення просторового розподілу особин дозволяє зрозуміти характер їхніх взаємодій між собою та з навколишнім середовищем. Це допомагає виявити, де зосереджені основні ресурси, такі як їжа або укриття, а також як ці ресурси впливають на поведінку та чисельність популяцій. Просторовий аналіз дає змогу вчасно виявити зміни або порушення у структурі популяцій, що може сигналізувати про екологічні загрози. Окрім того, він необхідний для моделювання та прогнозування змін у біорізноманітті, що є критичним для ефективного природоохоронного планування (Kunakh et al., 2024).

Коли особини не схильні до будь-яких стійких (негативних чи позитивних) взаємодій, вони розподілені в просторі випадково (рис. 1-А). Коли ж відносини між особинами в своїй основі антагоністичні (негативні), між ними діють сили відштовхування, тому, якщо середовище досить однорідне, просторове розміщення особин виявиться близьким до рівномірного (рис. 1-Б). І, нарешті, якщо в поведженні особин переважає тенденція до позитивних взаємодій, їхнє розміщення в однорідному середовищі може бути груповим (рис. 1-В). Крім того, груповий тип розподілу особин у просторі може бути пов'язаний з нерівномірністю (гетерогенністю) самого абіотичного та біотичного середовища.

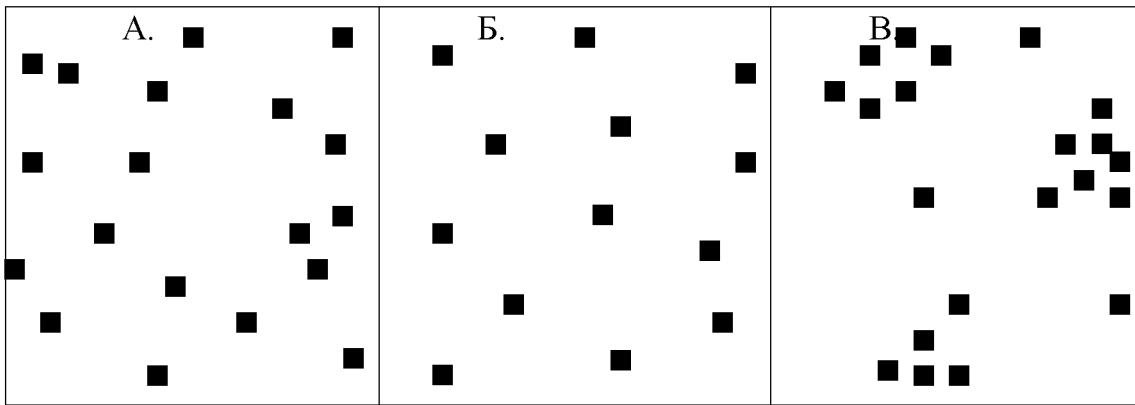


Рис. 1. Основні типи просторового розподілу об'єктів: А - випадковий; Б - рівномірний; В - груповий тип розподілу.

Характер розподілу особин у просторі може змінюватися в часі. Наприклад, у період статевої активності багато організмів прагнуть скоріше знайти собі статевого партнера, тому в цей період випадковий тип розміщення особин може змінюватися груповим. Змінюється просторова структура популяції і при різних рівнях чисельності. При підвищенні чисельності понад якийсь визначений рівень рівномірний або груповий розподіл змінюється випадковим. Таким чином, у загальному випадку перенаселення веде до зменшення рівня організації.

Усі методи визначення характеру просторового розподілу особин засновано на важливій особливості випадкового розподілу, яка полягає в тому, що для цього типу розподілу середнє арифметичне дорівнює варіансі (як і для розподілу Пуассона, що використовується як модельний при перевірці відповідності емпіричного розподілу випадковому). Таким чином, якщо ми визначимо середню щільність організмів у досліджуваній популяції методом пробних майданчиків (або трансект) і розрахуємо варіансу цього показника, то при $D = S^2$ розподіл особин виявиться випадковим, при $D > S^2$ — рівномірним, а при $D < S^2$ — груповим.

Необхідно вказати, що при зміні масштабу пробного майданчика, тип розподілу особин у просторі може змінюватися. Тому обов'язково необхідно дотримуватися однотипності методів дослідження популяції як у просторі, так і в часі для одержання порівнюваних показників.

Найбільш простим методом визначення характеру просторового розподілу об'єктів є використання **індексу Одума** (I_o) (Odum, 1986):

$$I_o = \frac{S^2}{D}.$$

Якщо вірогідно доведено, що $I_o < 1$, то особини розподілені у популяції рівномірно, якщо $I_o > 1$ — групами і, нарешті, якщо $I_o = 1$, то особини розподілені випадковим чином.

Індекс Одума характеризує тип просторового розподілу особин у кожен момент збору зразків і, отже, може бути використаний для аналізу зміни просторової структури популяції в часі.

Абсолютна щільність - найбільш імовірне число особин, що приходить на одиницю площі.

Абсолютна щільність (D) організмів на досліджуваній однорідній ділянці визначається як середнє арифметичне кількості зареєстрованих у межах кожного пробного майданчика (x_i) організмів (даного виду):

$$D = \frac{\sum x_i}{n},$$

де n — кількість досліджених пробних майданчиків ($i \in [1, n]$).

Показником, що характеризує точність одержуваних результатів, є помилка оцінки щільності (SE_D), що визначається через поняття варіанси (S^2):

$$SE_D = \sqrt{\frac{S^2}{n}},$$

$$S^2 = \frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1},$$

де $\sum x_i^2$ — сума квадратів кількостей організмів у кожному з n пробних майданчиків, а $(\sum x_i)^2$ — квадрат суми цих величин.

Вірогідними вважаються результати, при яких відношення $\frac{D}{SE_D}$ виявляється більше або дорівнює 5, тобто величина помилки повинна складати не більше 20 % величини самого показника.

На підставі цього підходу визначається необхідна кількість пробних майданчиків так, щоб отримані дані були вірогідними. Це число (n^*) визначається відповідно за формулою Елліота (Elliot, 1971):

$$n^* = \frac{25 S^2}{D^2}.$$

Таким чином, спочатку використовуються перші 15-20 пробних майданчиків, на їхній основі підраховуються проміжні показники щільності (D) і її варіанси (S^2), а потім використовуючи ці проміжні дані і підставляючи їх у формулу Елліота, визначають необхідне число пробних майданчиків (n^*), припускаючи, що характер розподілу особин у просторі постійний для всієї досліджуваної території. По закінченні збору матеріалу, визначають остаточний показник щільності і її помилку ($D \pm SE_D$). Це і є шуканий показник.

Деякою модифікацією індексу, запропонованого Одумом є **індекс дисперсії Соутвуда** (I_d) (Southwood, 1978). Він показує вірогідність відмінності аналізованого розподілу від рівномірного:

$$I_d = \frac{S^2(n-1)}{D}.$$

Для оцінки рівня вірогідності розраховане значення даного показника порівнюють з табличними значеннями χ^2 -квадрат Пірсона для числа ступенів свободи $df = n - 1$ (тобто число пробних майданчиків мінус одиниця).

Один з недоліків описаних вище способів оцінки характеру просторового розподілу особин полягає в допущенні того, що вибірка набагато менше, ніж утворені скупченнями особин плями. Очевидний вихід, що дозволяє нівелювати таке допущення полягає у використанні великого числа невеликих вибірок (пробних майданчиків).

Методом, що позбавлений описаного вище недоліку, є розрахунок **індексу Морісіта** (Morisita, 1959). На результати використання даного методу зовсім не впливають ні розміри пробного майданчика, ні розміри вибірки (за умови, що вона не занадто велика).

Формула для оцінки індексу Морісіта наступна:

$$I_\delta = n * \frac{(\sum f * N_i^2) - N}{N * (N - 1)},$$

де n — загальна кількість використаних пробних майданчиків; f — кількість майданчиків, що містять N_i особин; N — загальна кількість особин із усіх майданчиків (тобто $N = \sum N_i$).

Індекс Морісіта $I_\delta = 1$ при випадковому розподілі, $I_\delta < 1$ при рівномірному і $I_\delta > 1$ при груповому.

Мета роботи: навчитись визначати тип просторового розподілу організмів.

Завдання:

1. На 15 пробних майданчиках розміром $0,25 \text{ м}^2$ зареєстровано наступні кількості організмів: 1, 0, 3, 0, 5, 8, 9, 3, 0, 10, 1, 2, 4, 6 і 0. Необхідно визначити щільність популяції, помилку даного показника і необхідну додаткову кількість пробних майданчиків (якщо в цьому буде необхідність).
2. Необхідно визначити тип просторового розподілу особин (за індексом Одуму), використовуючи значення показників D і S^2 із попереднього завдання, а також оцінити характер розподілу особин на підставі індексу дисперсії Соутвуда.
3. При аналізі 72 пробних майданчиків (розміром $0,25 \text{ м}^2$) в 28 з них не було зареєстровано жодної тварини, в 18 - одна, в 9 - дві, в 7 - три, в 5 - чотири, в 1 - п'ять, в 2 - шість і ще в 2 - сім тварин. Визначити тип просторового розподілу особин у даній популяції. Для зручності отримані дані пропонується заносити у таблицю 1.

N_i	f	N_i^2	fN_i^2
0	28		
1	18		
2	9		
3	7		
4	5		
5	1		
6	2		
7	2		
Сума			

Питання для самоконтролю

1. Яке біологічне значення має встановлення типу просторового розподілу особин?
2. Чим відрізняються між собою індекси Одум, Соутвуда і Морісіта?
3. Що можна зробити за допомогою формули Елліота?

Список використаної та рекомендованої літератури:

1. M K Borregaard, D K Hendrichsen, and G Nachman. Spatial Distribution In book: Encyclopedia of Ecology, 2009
2. Hayes, J. J., & Castillo, O. (2017). A New Approach for Interpreting the Morisita Index of Aggregation through Quadrat Size. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(10), 296. <https://doi.org/10.3390/ijgi6100296>
3. Kunakh, O., & Zhukov, O. Spatial organization of the soil macrofauna community of an oak forest in the steppe zone of Ukraine. 2024) *Studia Biologica*, 18(3), 99–120. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30970/sbi.1803.779>
4. Morisita, M. (1959) Measuring of the dispersion and analysis of distribution patterns. *Memories of the Faculty of Science, Kyushu University. Series E: Biology*, 2, 215-235.
5. Ivan Valiela. *Basic Ecology*. Eugene P. Odum *The Quarterly Review of Biology* 1984 59:1, 85-86
6. Odum, U. (1986) Ecological Density of Individuals. *Ecology*, 2, 209.
7. Southwood, T.R.E. (1978): *Ecological methods, with particular reference to the study of insect populations*. The English Language Book Society and Chopan-Hall.

Практична робота № 2

Тема: дослідження особливостей випадкового типу просторового розподілу особин

Характер розміщення особин у просторі є однією з найважливіших характеристик окремих популяцій і виду загалом, що визначається взаємодією багатьох механізмів - дисперсією, репродуктивною поведінкою, просторовою гетерогенністю місцеперебувань, внутрішньо- і міжвидовою конкуренцією, антропогенним тиском (Nunes and Santos, 2012).

Патерн просторової організації популяції можна розглядати в аспекті просторової гетерогенності та просторової структурованості (Pielou E. C. 1977). Оцінка просторової гетерогенності ґрунтується на вибіркових характеристиках даних про чисельність особин у межах досліджених пробних майданчиків. Найчастіше для вимірювання міри просторової гетерогенності використовують методи апроксимації вибіркового розподілу чисельності особин розподілом Пуассона, а в основі розрахунку більшості індексів просторової гетерогенності лежить відношення вибіркової варіації до середньої арифметичної (S^2/D). У разі, якщо відношення S^2/D близьке до 1, розподіл особин у популяції близький до випадкового, за $S^2/D < 1$, особини в популяції мають рівномірний розподіл, а за $S^2/D > 1$ - груповий (агрегований). На основі цього відношення побудовано низку індексів, які використовують для оцінки міри гетерогенності розміщення особин у просторі, такі як індекс Гріна, індекс «середньої скупченості» Ллойда, індекс Івеса, індекс Морсіґа тощо. При цьому розташування самих пробних майданчиків відносно один одного ніяк не враховується (важливо тільки, щоб воно було випадковим у межах території, яку займає популяція). Оцінку просторової структурованості можна одержати тільки в тому разі, якщо для кожного пробного майданчика відмічено їхні точні координати. При цьому пробні майданчики можуть бути розташовані випадковим чином або у вигляді регулярної сітки. Просторова внутрішньопопуляційна структурованість відбивається в наявності окремих агрегацій або їхніх скупчень, у взаємному розташуванні таких агрегацій, у їхньому розмірі, відстані між їхніми центроїдами, наявності автокореляції чисельності особин у межах досліджуваної популяції (Fortin M.-J. et al, 2002).

Частоти ряду Пуассона задаються формулою:

$$Y = e^{-D} \frac{D^x}{X!}.$$

Щоб оцінити рівень вірогідності розходжень фактичних і теоретичних частот, ми використовуємо критерій Хі-квадрат Пірсона (χ^2):

$$\chi^2 = \frac{\sum (\Phi - T)^2}{T},$$

де Φ - фактичні значення частот; T - теоретичні.

При використанні критерію Хі-квадрат Пірсона необхідно, щоб порівнювані частоти були не менш 4-5.

Мета роботи: ознайомитись з особливостями розподілу Пуассона, на конкретних прикладах з'ясувати, чи відповідає тип розподілу особин в просторі випадковому.

Завдання:

При аналізі 72 пробних майданчиків (розміром 0,25 м²) в 28 з них не було зареєстровано жодної тварини, в 18 - одна, в 9 - дві, в 7 - три, в 5 - чотири, в 1 - п'ять, в 2 - шість і ще в 2 - сім тварин. Визначити тип просторового розподілу особин у даній популяції. Для зручності отримані дані пропонується заносити у таблицю 2.

Таблиця 2

Кількість особин на майданчику (X)	Фактичні частоти	Значення ряду Пуассона (Y)	Теоретичні частоти
0	28		
1	18		
2	9		
3	7		
4	5		
5	1		
6	2		
7	2		
Сума	72	1,000	

Питання для самоконтролю

4. Яке відношення лежить в основі розрахунку більшості індексів просторової гетерогенності? Яким чином розшифровується його значення?
5. Яка особливість притаманна розподілу Пуассона?
6. Який критерій використовується для оцінки рівня вірогідності розходжень фактичних і теоретичних частот?

Список використаної літератури:

1. Fortin M.-J., Dale M.R.T., ver Hoef J. 2002. Spatial Analysis in Ecology // Encyclopedia of Environmetrics. V. 4. P. 2051–2058
2. Nunes, GKM. and Santos, SB Environmental factors affecting the distribution of land snails in the Atlantic Rain Forest of Ilha Grande, Angra dos Reis, RJ, Brazil. 2012 Brazilian Journal of Biology 72(1):79-86
3. Pielou E. C. 1977. Mathematical Ecology. New York – London – Sydney – Toronto: John Wiley and Sons. 385 p.

Практична робота № 3

Тема: дослідження особливостей просторового розподілу і життєвого стану акації білої (*Robinia pseudoacacia L.*)

Акація біла (*Robinia pseudoacacia L.*) давно поширилась у багатьох країнах і зараз є звичайною частиною ландшафту Центральної та Східної Європи, де вона обмежена кліматичними умовами: пізніми весняними заморозками у поєднанні з коротким вегетаційним періодом, гіпоксією ґрунту, затіненням і частими серйозними порушеннями (Vítková *et al.*, 2017). Тривала історична традиція використання робінії для лісорозведення призвела до її популярності як широко розповсюдженого лісового дерева, а в деяких країнах вона є важливою частиною економіки (Puchařka *et al.*, 2021; Vítková *et al.*, 2017, 2020). Основними причинами цього є швидкий ріст, цінна і стійка деревина, придатність до меліорації, рекультивації порушених земель та боротьби з ерозією, медозбір, а віднедавна і виробництво дендромаси. Акація біла виявилася ефективною у рекультивації деградованих земель, коли місцеві види не є альтернативою в умовах зміни клімату та опустелювання. Екологічні характеристики виду в його природному ареалі є також дуже корисними для забезпечення відновлення рослинного покриву на територіях, що зазнали значного антропогенного тиску. Цей вид має велику кількість важливих і корисних властивостей, які роблять його провідним агентом у системі лісового господарства та забезпечують значні екологічні та економічні вигоди (Kunakh *et al.*, 2023).

З іншого боку, побічним ефектом посадки цього азотфіксуючого дерева-піонера, дуже толерантного до характеру субстрату, є його розмноження і поширення, що створює проблему для охорони природи. Як вважається, вона має позитивний економічний, але негативний екологічний вплив на екосистеми, що призводить до конфлікту інтересів між природоохоронними органами, лісовим господарством, міським озелененням, бджолярами та громадськістю при визначенні пріоритетів управління (Sádlo *et al.*, 2017; Vítková *et al.*, 2017). Тому важливість акації білої в європейських екосистемах залишається предметом дискусій, особливо урахувавши той факт, що це адвентивний вид, який походить з іншого континенту. При цьому багато дослідників вважає, що статус акації білої як інвазивного виду, тобто такого, що здатний до неконтрольованого поширення, залишається спекулятивним (Rega *et al.*, 2018; Rusňák *et al.*, 2022; Sádlo *et al.*, 2017; Vítková *et al.*, 2015; Vítková and Kolbek, 2010). Така суперечливість думок фахівців вимагає комплексного уявлення про цей вид і проведення різноманітних досліджень, в тому числі з визначенням життєвості рослин на основі морфометричних параметрів та їх життєвого стану.

Визначення показнику життєвого стану дерев здійснюють за 5-бальною шкалою В. А. Алексєєва (Alekseev, 1989). Розрахунок індексу ступеня пошкодження деревостану здійснюють за такою формулою:

$$L_n = \frac{100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4}{N},$$

де L_n – відносний життєвий стан деревостану; n_1 – число здорових дерев; n_2 – число ослаблених дерев; n_3 – число сильно ослаблених дерев; n_4 – число відмираючих дерев; N - загальна кількість дерев (враховуючи сухостій) на пробній площі або 1 га. Деревостани з індексом стану 90-100 % належать до категорії "здорові", 80-89 % - "здорові з ознаками ослаблення", 70-79 % - "ослаблені", 50-69 % - "пошкоджені", 20-49 % - "сильно пошкоджені", менше 20 % - "зруйновані"(Chongova *et al.*, 2022).

Мета роботи: з'ясувати життєвість акації білої у міських екосистемах (*R. pseudoacacia*), як інвазивного виду, шляхом оцінки її життєвого стану і за допомогою визначення основних морфометричних параметрів (висоти і діаметру стовбуру).

Завдання:

1. Ознайомитись з особливостями біології акації білої, як інвазивного виду.
2. Порахувати індекс Одума для дослідженої популяції і оцінити характер просторового розподілу дерев на території, якщо усього було досліджено 160 пробних ділянок, на 6 з них не було зафіксовано дерев даного виду, на 126 ділянках – по 1 дереву, на 20 ділянках – по 2 і на 4 ділянках – по 3 дерева.
3. Побудувати гістограми розподілу дерев *R. pseudoacacia* за їх морфометричними показниками (висотою і діаметром стовбурів), наведеними у додатку до роботи.
4. Оцінити зв'язок морфометричних параметрів рослин з їх життєвим станом.
5. Зробити висновок про тип просторового розподілу та життєвість популяції акації білої (*R. pseudoacacia*) на дослідженій території.

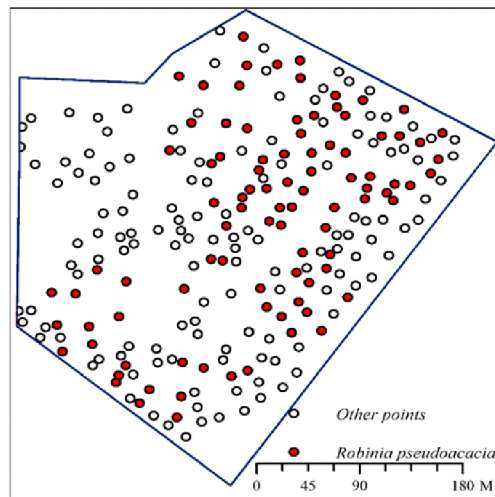


Рис. 2. Розташування *Robinia pseudoacacia* на дослідній території

Питання для самоконтролю

1. Які позитивні та негативні аспекти повсюдного вирощування акації білої? Для чого необхідне детальне вивчення її морфо-біологічних особливостей?
2. Як розраховується індекс Одума?
3. Як визначається показник життєвого стану дерев? Скільки градацій він має?

Список використаної літератури:

1. Чонгова, А. С., Пономарьова, О. А., & Кирпа, О. С. (2022). Стан зелених насаджень Українського державного університету науки і технологій міста Дніпра. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(1), 30–35. <https://doi.org/10.36930/40320105>
2. Alekseev, V. A. Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya derevev i drevostoev. *Lesovedenie*, 1989, С. 51–57. [In Russian].
3. Kunakh, O. M., Ivanko, I. A., Holoborodko, K. K., Volkova, A. M., & Zhukov, O. V. (2023). Age estimation of black locust (*Robinia pseudoacacia*) based on morphometric traits. *Biosystems Diversity*, 31(2), 222–228. <https://doi.org/10.15421/012324>
4. Puchałka, R., Dyderski, M. K., Vítková, M., Sádlo, J., Klisz, M., Netsvetov, M., Prokopuk, Y., Matisons, R., Mionskowski, M., Wojda, T., Koprowski, M., & Jagodziński, A. M. (2021). Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) range contraction and expansion in Europe under changing climate. *Global Change Biology*, 27(8), 1587–1600. <https://doi.org/10.1111/gcb.15486>
5. Rega, C., Bartual, A. M., Bocci, G., Sutter, L., Albrecht, M., Moonen, A. C., Jeanneret, P., van der Werf, W., Pfister, S. C., Holland, J. M., & Paracchini, M. L. (2018). A pan-European model of landscape potential to support natural pest control services. *Ecological Indicators*, 90, 653–664. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.075>

6. Rusňák, T., Halabuk, A., Halada, L., Hilbert, H., & Gerhátová, K. (2022). Detection of Invasive Black Locust (*Robinia pseudoacacia*) in Small Woody Features Using Spatiotemporal Compositing of Sentinel-2 Data. *Remote Sensing*, 14(4), 971. <https://doi.org/10.3390/rs14040971>
7. Sádlo, J., Vítková, M., Pergl, J., & Pyšek, P. (2017). Towards site-specific management of invasive alien trees based on the assessment of their impacts: the case of *Robinia pseudoacacia*. *NeoBiota*, 35, 1–34. <https://doi.org/10.3897/neobiota.35.11909>
8. Vítková, M., Müllerová, J., Sádlo, J., Pergl, J., & Pyšek, P. (2017). Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 384, 287–302. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.057>
9. Vítková, M., Sádlo, J., Roleček, J., Petřík, P., Sitzia, T., Müllerová, J., & Pyšek, P. (2020). *Robinia pseudoacacia*-dominated vegetation types of Southern Europe: Species composition, history, distribution and management. *Science of the Total Environment*, 707. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134857>
10. Vítková, M., Tonika, J., & Müllerová, J. (2015). Black locust—Successful invader of a wide range of soil conditions. *Science of The Total Environment*, 505, 315–328. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.104>
11. Vítková, M., & Kolbek, J. (2010). Vegetation classification and synecology of Bohemian *Robinia pseudoacacia* stands in a Central European context. *Phytocoenologia*, 40(2–3), 205–241. <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2010/0040-0425>

Практична робота № 4

Тема: дослідження особливостей просторового розподілу і життєвого стану клену гостролистого (*Acer platanoides*)

У всьому світі клени вважаються однією з найважливіших груп дерев у міських лісах, а також для висадки на газонах, уздовж вулиць і в парках. Дослідження показують, що клени можуть бути основоположними видами, тобто вони відіграють непропорційно велику роль у формуванні та підтримці своїх екосистем, а також у збільшенні місцевого видового різноманіття. Історія свідчить, що клени також є основоположним видом для людини і відігравали життєво важливу роль у структурі суспільств по всьому світу (Matkowska *et al.*, 2019).

Клен гостролистий (*A. platanoides*) - листопадне дерево, що виростає до 20 м заввишки і має гострозубчасте листя. Квітки дрібні, жовті, з'являються навесні. Віддає перевагу вологим ґрунтам та затіненим ділянкам. Завдяки привабливому вигляду, клен гостролистий часто використовується як декоративна рослина в садах і парках по усьому світу.

Клен гостролистий (*A. platanoides*) - велике і швидкоросле дерево. Це найпоширеніший місцевий клен в Європі, природний ареал якого простягається від Греції до Уральських гір в Росії. Його широко висаджують як тіньове дерево і в декоративних цілях, він високо цінується за барвисте осіннє листя і стійкість до міських умов. Деревина використовується для виготовлення меблів, декоративних та столярних виробів, а коли має хвилясту текстуру - для виготовлення струнних інструментів. Додаткові корені роблять дерево корисним для боротьби з ерозією та стабілізації схилів.

Клен гостролистий добре зростає на глибоких, родючих і вологих ґрунтах, але здатний рости за різних ґрунтових умов. Дерево також добре переносить затінення, посуху та забруднення. Він часто зустрічається у змішаних деревостанах, як з хвойними, так і з широколистяними деревами, і росте на висоті від рівня моря до 1400 м. Найкраще він зростає на ґрунтах, які добре дреновані і мають слабо кислий рівень рН. Добре переносить оголення та вапнування ґрунту. Не витримує низького вмісту азоту в ґрунті, високого рівня випаровування або тривалої посухи, рідко зустрічається на кислих ґрунтах (рН близько 4) (Nowak *et al.*, 2008). Квітки запилюються комахами і з'являються, коли дереву виповнюється 25-30 років. Дерево, як правило, росте біля підніжжя пагорбів, де воно отримує поверхневий стік і підземний потік ґрунтових вод. Він також процвітає на більших висотах, де випадає достатня кількість опадів. Він швидко проростає і росте в тіні, навіть під щільним навісом. У зрілому віці стає більш вибагливим до світла. Приріст у висоту становить близько 1 м/рік у перші 10 років. Завдяки своїй широкій кроні він має тенденцію до затінення і пригнічення інших повільно зростаючих видів-конкурентів. В оптимальних умовах клен гостролистий

може жити понад 250 років. По всій Європі він зустрічається на свіжих і вологих місцях як у хвойних, так і в листяних лісах. У природних деревостанах клен гостролистий зустрічається як другорядний вид з низькою частотою, тому не утворює чистих деревостанів, а зазвичай зустрічається невеликими групами або окремими деревами. У помірних континентальних мішаних лісах він може співдомінувати з іншими широколистяними породами, такими як дуб звичайний (*Quercus robur*) та липа серцелиста (*Tilia cordata*) (Bosco *et al.*, 2015; Nguyen Trong *et al.*, 2020).

У природному середовищі існування клен гостролистий, як правило, не хворіє на серйозні захворювання. Однак у містах, разом з іншими кленами, він може страждати від різних хвороб, спричинених поєднанням стресів, викликаних забрудненням, зміною місцевості, ущільненням ґрунту тощо. Сажиста хвороба кори, спричинена *Cryptostroma corticale*, є важливим патогеном, поширеним у Північній Америці та Центральній Європі, що вражає переважно клен-явір (*Acer pseudoplatanus*), але є небезпечним і для клена гостролистого, який зазнає серйозних ушкоджень у спекотне і сухе літо. Азійський довгоносик *Anoplophora glabripennis* - великий деревогризучий жук родом з азійських країн, таких як Японія, Корея та Китай. Його личинки прокладають тунелі і живляться шаром кори камбію, атакуючи здорові дерева, а також дерева, що перебувають у стані стресу, і врешті-решт вбиваючи види-господарі. Він створює серйозні економічні, екологічні та естетичні наслідки для різних листяних порід дерев, головним чином у Сполучених Штатах, а останнім часом і в Європі. Особливо вразливими є клен гостролистий та інші види роду *Acer*, які є одними з основних господарів у містах. Гриби роду *Rhytisma* вражають листя клена і спричиняють появу чорних плям на верхній поверхні листя. Гриби в'янення роду *Verticillium* вражають декоративні та садові рослини через кореневу систему вздовж водопровідних тканин, що призводить до блокування руху води до листя (Wurzbacher *et al.*, 2016). Хоча *Cameraria ochridella* (каштанова мінуюча міль) в основному відома своїм вражаючим впливом на європейський каштан (*Aesculus hippocastanum* L.), вона також є шкідливою для клена гостролистого, який частково співіснує з природною нішею каштанової мінуючої молі (Barredo *et al.*, 2015; Kirichenko *et al.*, 2021). У середині 20-го століття цей вид широко висаджували у США на заміну американському в'язу (*Ulmus americana*), який був втрачений через хворобу голландського в'язу. Однак, завдяки своєму швидкому зростанню, густій тіні та неглибокому корінню, цей вид продемонстрував себе як інвазивний вид, зменшуючи чисельність та різноманітність місцевих видів і змінюючи природні структури лісових угруповань. Він вторгся в мішані листяні ліси, особливо на порушених ділянках у східній частині Північної Америки, що вимагає в деяких випадках механічних або хімічних заходів контролю (Reinhart *et al.*, 2006).

Серед кленів північноамериканський клен (клен ясенелистий – *Acer negundo*) вважається одним з найнебезпечніших інвазивних видів. Однак, завдяки високій насінневій продуктивності та здатності рости на екологічно

несприятливих територіях, він також широко зустрічається на територіях міст. У містах України частка серед усіх зелених насаджень, яка припадає на клен гостролистий, коливається до 35%. Стверджується, що стрімке скорочення популяції клена може погіршити несприятливу екологічну ситуацію в місті (Matkovska *et al.*, 2019; Vykhor and Prots, 2013). Тому вивчення еколого-морфологічних особливостей виду є дуже актуальним.

Визначення показнику життєвого стану дерев здійснюють за 5-бальною шкалою В. А. Алексєєва (Alekseev, 1989). Розрахунок індексу ступеня пошкодження деревостану здійснюють за такою формулою:

$$L_n = \frac{100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4}{N},$$

де L_n – відносний життєвий стан деревостану; n_1 – число здорових дерев; n_2 – число ослаблених дерев; n_3 – число сильно ослаблених дерев; n_4 – число відмираючих дерев; N - загальна кількість дерев (враховуючи сухостій) на пробній площі або 1 га. Деревостани з індексом стану 90-100 % належать до категорії "здорові", 80-89 % - "здорові з ознаками ослаблення", 70-79 % - "ослаблені", 50-69 % - "пошкоджені", 20-49 % - "сильно пошкоджені", менше 20 % - "зруйновані"(Chongova *et al.*, 2022).

Мета роботи: з'ясувати життєвість клена гостролистого (*A. platanoides*) у міських екосистемах, як виду, який дуже часто використовується для міського озеленення територій, шляхом оцінки його життєвого стану і за допомогою визначення основних морфометричних параметрів (висоти і діаметру стовбуру).

Завдання:

1. Ознайомитись з особливостями біології клена гостролистого.
2. Порахувати індекс Одума для дослідженої популяції і оцінити характер просторового розподілу дерев на території, якщо усього було досліджено 240 пробних ділянок, на 127 з них не було зафіксовано дерев даного виду, на 84 ділянках – по 1 дереву, на 10 ділянках – по 2 і на 3 ділянках – по 3 дерева.
3. Побудувати гістограми розподілу дерев *A. platanoides* за їх морфометричними показниками (висотою і діаметром стовбуру), наведеними у додатку до роботи.
4. Оцінити зв'язок морфометричних параметрів рослин з їх життєвим станом.
5. Зробити висновок про тип просторового розподілу та життєвість популяції клена гостролистого (*A. platanoides*) на дослідженій території.

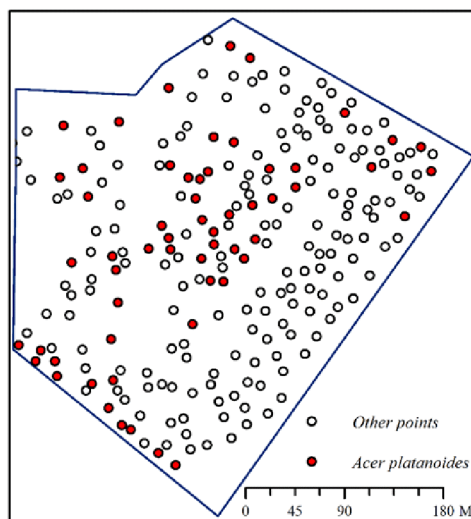


Рис. 3. Розташування *Acer platanoides* на дослідній території

Питання для самоконтролю

1. У чому позитивна роль клену гостролистого в екосистемах? Наведіть приклади його практичного застосування.
2. У чому небезпечність широкого використання клену гостролистого для озеленення?
3. У чому полягає важливість визначення морфометричних показників дерев? Для чого їх можна використовувати?
4. Розшифруйте градації показнику життєвого стану дерев.

Список використаної та рекомендованої літератури:

1. Чонгова, А. С., Пономарьова, О. А., & Кирпа, О. С. (2022). Стан зелених насаджень Українського державного університету науки і технологій міста Дніпра. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(1), 30–35. <https://doi.org/10.36930/40320105>
2. Alekseev, V. A. Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya derevev i drevostoev. *Lesovedenie*, 1989, С. 51–57. [In Russian].
3. Matkovska, S. I., Svitelsky, M. M., Ishchuk, A. V., Pinkina, T. V., Fedyucka, M. I., & Solomatina, V. D. (2019). Екологічна роль представників роду *Acer* L. у зелених насадженнях міста Житомир. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(1), 70–73. <https://doi.org/10.15421/40290115>.
4. Nowak, D., Crane, D., Stevens, J., Hoehn, R., Walton, J., & Bond, J. (2008). A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. *Arboriculture & Urban Forestry*, 34(6), 347–358. <https://doi.org/10.48044/jauf.2008.048>.
5. Bosco, C., de Rigo, D., Dewitte, O., Poesen, J., & Panagos, P. (2015). Modelling soil erosion at European scale: towards harmonization and reproducibility. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(2), 225–245. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-225-2015>.

6. Nguyen Trong, H., Nguyen, T. D., & Kappas, M. (2020). Land Cover and Forest Type Classification by Values of Vegetation Indices and Forest Structure of Tropical Lowland Forests in Central Vietnam. *International Journal of Forestry Research*, 2020, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2020/8896310>.
7. Wurzbacher, C., Grimmett, I. J., & Bärlocher, F. (2016). Metabarcoding-based fungal diversity on coarse and fine particulate organic matter in a first-order stream in Nova Scotia, Canada. *F1000Research*, 4, 1378. <https://doi.org/10.12688/f1000research.7359.2>.
8. Barredo, J. I., Strona, G., de Rigo, D., Caudullo, G., Stancanelli, G., & San-Miguel-Ayanz, J. (2015). Assessing the potential distribution of insect pests: case studies on large pine weevil (*H ylobius abietis* L) and horse-chestnut leaf miner (*C ameraria ohridella*) under present and future climate conditions in E uropean forests. *EPPO Bulletin*, 45(2), 273–281. <https://doi.org/10.1111/epp.12208>.
9. Kirichenko, N., Karpun, N., Akulov, E., Samarina, L., Mamaev, N., & Musolin, D. (2021). The Invasive Horse-Chestnut Leaf Miner >Cameraria ohridella> (Lepidoptera: Gracillariidae) in the Southern Russia: Preliminary Molecular Genetic Characterization. *Proceedings of The 1st International Electronic Conference on Entomology*, 10507. <https://doi.org/10.3390/IECE-10507>.
10. Reinhart, K. O., Maestre, F. T., & Callaway, R. M. (2006). Facilitation and Inhibition of Seedlings of an Invasive Tree (*Acer platanoides*) by Different Tree Species in a Mountain Ecosystem. *Biological Invasions*, 8(2), 231–240. <https://doi.org/10.1007/s10530-004-5163-9>.
11. Vykhov, B., & Prots, B. (2013). Ash-leaved maple (*Acer negundo* L.) in the Transcarpathia: ecology, distrybution and impact on environment. *Studia Biologica*, 7(2), 119–130. <https://doi.org/10.30970/sbi.0702.284>.

Практична робота № 5

Тема: візуалізація просторового розміщення дерев у міському парку

R - це мова програмування та програмне середовище, спеціально розроблене для статистичних обчислень, аналізу даних та графічного представлення (<https://www.r-project.org>, дата звернення: 12 вересня 2022 року). Спочатку її розробили Росс Іхака та Роберт Джентльмен в Оклендському університеті, Нова Зеландія, на початку 1990-х років (Ihaka; Gentleman, 1996). R - це програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, випущене під ліцензією GNU General Public License. Це означає, що будь-хто може використовувати, модифікувати та розповсюджувати R без жодних ліцензійних витрат. Наявність безкоштовної платформи з відкритим вихідним кодом робить R доступним для науковців по всьому світу, в тому числі з обмеженими ресурсами або в країнах, що розвиваються. R має велику колекцію пакунків, створених користувачами, доступних у Comprehensive R Archive Network (CRAN) та інших репозиторіях. Дослідники можуть використовувати ці пакунки для доступу до спеціалізованих функцій та алгоритмів, розширюючи можливості R для своїх конкретних наукових досліджень. R дозволяє дослідникам проводити складні аналізи, створювати переконливі візуалізації та прозоро ділитися своїми напрацюваннями, що робить її найкращою мовою для наукових досліджень та аналізу даних (Bolker et al, 2013, Lawlor et al, 2022, Lai et al, 2023).

CRAN надав останню версію R та її пакунків і документації. Доступ до неї можна отримати на сайті <http://cran.r-project.org>. З моменту запуску в 1996 році було кілька версій цього програмного забезпечення, і останньою версією була R версії 3.2.1, випущена 18 червня 2015 р. Унікальність CRAN полягає в тому, що він розміщений на багатьох дзеркалах в декількох країнах. Дзеркала зазвичай розміщуються в університетах або дослідницьких установах як державного, так і приватного секторів. Нещодавно налічувалося 101 дзеркало в 49 різних країнах. Кількість серверів зростає разом із розвитком R-спільнот. Наприклад, у 2010 році в Індонезії не було жодного сервера репозиторію CRAN, але зараз він є, і, можливо, їхня кількість збільшиться в майбутньому. Наразі на цьому сайті доступно 6786 пакунків. Велика кількість пакетів збільшує ймовірність того, що користувачі знайдуть потрібний їм пакет. CRAN також запровадив подання завдань, які містять інформацію про застосування R у певних галузях досліджень. Task Views перелічує доступні пакунки для певної галузі досліджень, а також пропонує кілька книг або пов'язаних з ними публікацій. На додаток до CRAN, є також кілька інших веб-сайтів для конкретних цілей, таких як Rgeo (<https://geodacenter.asu.edu/projects/rsp>), який пропонує новини та посібники для даних просторового аналізу; biocductor (www.biocductor.org) надає пакети R, пов'язані з генетичним аналізом; RobustStatistics

(www.statistik.tuwien.ac.at/rsr), який організовує інструменти R для багатьох моделей, що широко використовуються в методах робастної статистики; Rmetrics (www.rmetrics.org) - програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом для кількісних фінансів. Інтернет також допомагає користувачам R взаємодіяти один з одним. Крім того, кілька блогів також сприяють обговоренню певних R-додатків. R можна запускати як у рідній консольній версії, так і в графічному інтерфейсі. Надання переваги графічному інтерфейсу R зазвичай ґрунтується на досвіді користувачів R і, звичайно, на стабільності графічного інтерфейсу. Здебільшого, залежно від того, як їх навчали R під час попереднього навчання або тренінгу, люди знайомляться з певним графічним інтерфейсом. Однак, вивчення нативної консолі R дає перевагу в розумінні філософії самої мови і розширює можливості використання скриптів на одному з графічних інтерфейсів. Крім того, для реалізації більш складних аналізів необхідно писати скрипти або, принаймні, модифікувати чужі скрипти.

R можна використовувати як науковий калькулятор, безпосередньо вводячи дані на панелі консолі. Однак використання панелі сценаріїв є кращим і дуже корисним для збереження кодів. Одномірний аналіз, такий як середнє значення, діапазон, стандартне відхилення та інші, легко виконується в R. Ці базові статистичні вимірювання завжди виконуються на даних біорізноманіття, наприклад, для підрахунку кількості видів або кількості особин одного виду. Індокси різноманіття, такі як Шеннона-Вінера, Піелу або Сімпсона, також можуть бути розраховані в R з використанням веган-пакету (Oksanen et al., 2015), наприклад, з набором даних про дюни (Jongman et al., 2005).

Аналіз просторових патернів є одним із способів оцінити роль конкуренції між деревами в динаміці паркової екосистеми. Тип просторової структури дає можливість встановити, чим обумовлюється розташування рослин – чи це регулярний вплив дрібномасштабних просторових патернів; чи патерни суттєво не відрізняються від випадкового розподілу; чи просторові патерни на більших масштабах згруповані через гетерогенність ділянки (Szwagrzyk, Czerwczak, 2009).

Мета роботи: засобами R-project навчитись здійснювати візуалізацію просторового розміщення об'єктів у просторі.

Завдання:

1. Здійснити інсталяцію бібліотек на диск комп'ютера (перший раз)

```
install.packages(c("sf", "terra", "sp"))
```

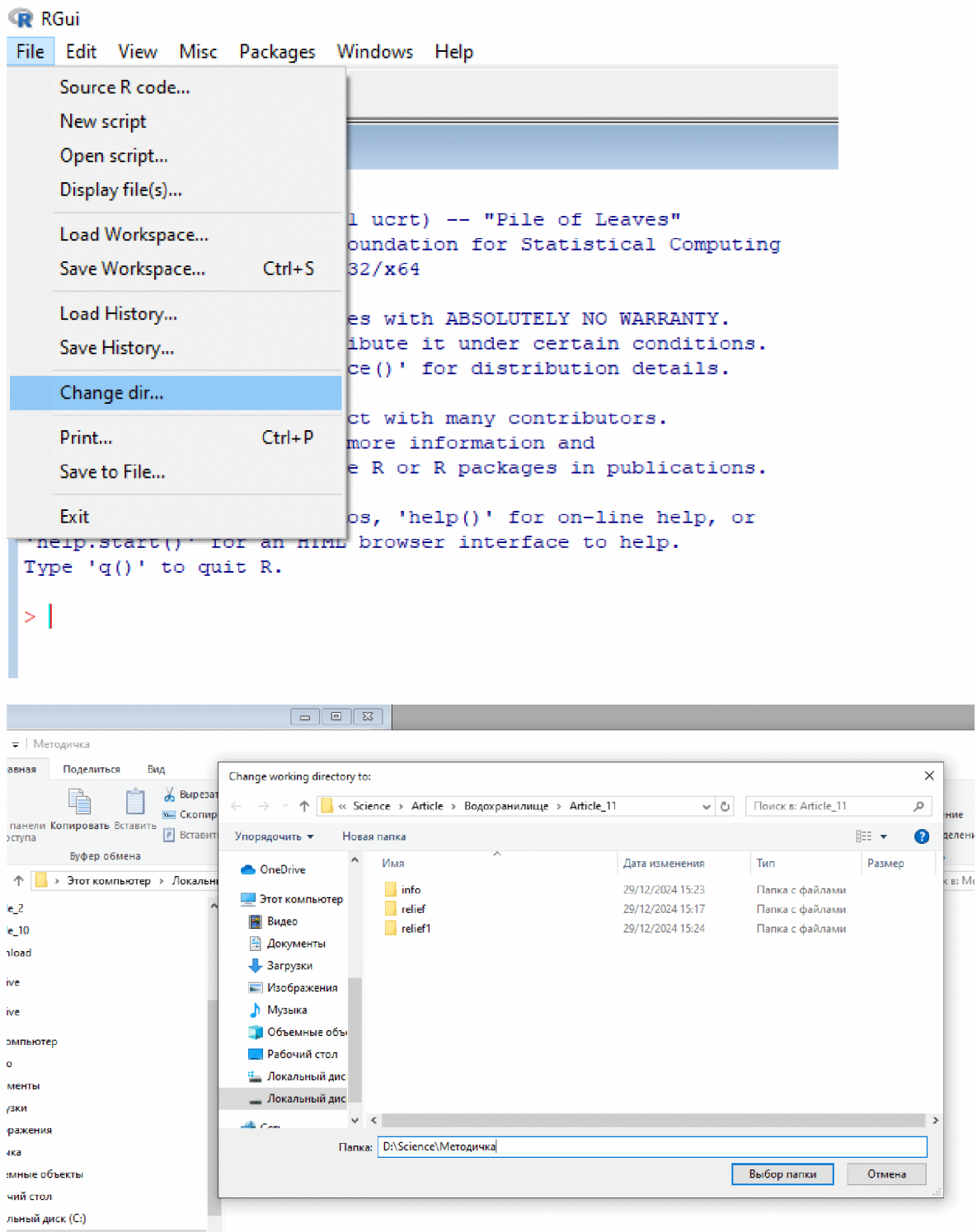
2. Завантажити бібліотеки (кожного разу)

```
library(sf)
```

```
library(terra)
```

```
library(sp)
```

3. Вказати розміщення робочої директорії: File → ChangeDir→Вказати робочу директорію



4. Завантажити дані про границі парку з файлу даних

```
coords<- read.delim("frame.txt")
```

```
coords
```

5. Створити полігональний об'єкт

```
polygon <- Polygon(coords)
```

```
# Add the Polygon to a Polygons object (needed for SpatialPolygons)
```

```
polygons <- Polygons(list(polygon), ID = "1")
```

```
# Create a SpatialPolygons object
```

```
sp_polygon <- SpatialPolygons(list(polygons))
```

```
# Plot the polygon
```

```
plot(sp_polygon, col = "lightblue", border = "blue", main = "Студентський парк")
```

6. Завантажити дані про точки обліку в межах парку

```
points <- read.delim("points.txt")
```

```
points(points)
```

7. Завантажити відомості про розміщення дерев у парку

```
tree <- read.delim("tree.txt")
```

8. Об'єднати файл з координатами з файлом точок обліку дерев

```
points <- cbind(points, tree)
```

```
#Подивитися перші декілька строчок у файлі
```

```
head(points)
```

```
#Подивитися назви стовбців у файлі
```

```
colnames(points)
```

9. За номером у списку обрати вид, який нас цікавить

Наприклад, нас цікавить №3 – це `Acer_negundo`:

```
i<-3
```

10. Обираємо тільки ті координати, де зустрічається вид, який нас цікавить:

```
filtered_points<- points[points[,i]> 0, ]
```

11. Будуємо графік границь парку, розміщення точок обліку та точок, де був зустрінутий вид:

```
windowsFonts(times = windowsFont("Times New Roman"))
```

```
par(family = "times", mar = c(1.0,1.0,1.0,0.5))
```

```
plot(sp_polygon, col = "lightblue", border = "blue", main = colnames(points)[i])
```

```
points(points, col = "green", cex=1)
```

```
points(filtered_points, col = "red", pch = 4, cex=2)
```

```
i<-5
```

12. Будуємо графік границь парку, розміщення точок обліку та точок, де був зустрінутий вид, розмір яких пропорційний кількості облікованих дерев:

```
windowsFonts(times = windowsFont("Times New Roman"))
```

```
par(family = "times", mar = c(1.0,1.0,1.0,0.5))
```

```
plot(sp_polygon, col = "lightblue", border = "blue", main = colnames(points)[i])
```

```
points(points, col = "green", cex=1)
```

```
points(filtered_points, col = "red", pch = 16, cex = filtered_points[,i]/2)
```

```

table_points<-table(filtered_points[,i])

legend(

"bottomright", # Position 'arg' should be one of "bottomright", "bottom", "bottomleft", "left", "topleft",
"top", "topright", "right", "center"

legend = names(table_points), # Labels

pch = 16, # Symbol (same as in the plot)

col = "red", # Color of the points

pt.cex = as.numeric(names(table_points))/2,# Sizes of the points

text.width = 0.7,

bty = "n"

```

Питання для самоконтролю

1. Що собою представляє R-проект? Ким і коли був розроблений даний продукт? Його можливості.
2. Для яких цілей можна використовувати R?
3. Для чого може використовуватись дана практична робота?

Список використаної та рекомендованої літератури

1. Bolker, B.M.; Gardner, B.; Maunder, M.; Berg, C.W.; Brooks, M.; Comita, L.; Crone, E.; Cubaynes, S.; Davies, T.; de Valpine, P.; et al. Strategies for fitting nonlinear ecological models in R, AD Model Builder, and BUGS. *Methods Ecol. Evol.* 2013, 4, 501–512
2. Chase, J. M., Kraft, N. J. B., Smith, K. G., Vellend, M., and Inouye, B. D. (2011). Using null models to disentangle variation in community dissimilarity from variation in α -diversity. *Ecosphere*, 2(2): art24. <https://doi.org/10.1890/ES10-00117.1>
3. Ihaka, R.; Gentleman, R. R: A Language for Data Analysis and Graphics. *J. Comput. Graph. Stat.* 1996, 5, 299–314.
4. Jongman, R. H. G., Ter Braak, C. J. F., & VanTongeren, O. F. R. (2005). Data analysis in community and landscape ecology (2 ed.). New York: Cambridge University Press. (PDF) *R and Its Applications on the Ecological Research Activities*. Available from: https://www.researchgate.net/publication/307791671_R_and_Its_Applications_on_the_Ecological_Research_Activities [accessed Jan 15

- 2025].
5. Kunakh, O. M., Ivanko, I. A., Holoborodko, K. K., Lisovets, O. I., Volkova, A. M., Nikolaieva, V. V., and Zhukov, O. V. (2022). Modeling the spatial variation of urban park ecological properties using remote sensing data. *Biosystems Diversity*, 30(3): 213–225. <https://doi.org/10.15421/012223>
 6. Lai, J., Cui, D., Zhu, W., & Mao, L. (2023). The Use of R and R Packages in Biodiversity Conservation Research. *Diversity*, 15(12), 1202. <https://doi.org/10.3390/d15121202>
 7. Legendre, P., and De Cáceres, M. (2013). Beta diversity as the variance of community data: Dissimilarity coefficients and partitioning. *Ecology Letters*, 16(8): 951–963. <https://doi.org/10.1111/ele.12141>
 8. Lawlor, J.; Banville, F.; Forero-Munoz, N.R.; Hebert, K.; Martinez-Lanfranco, J.A.; Rogy, P.; MacDonald, A.A.M. Ten simple rules for teaching yourself R. *PLoS Comput. Biol.* 2022, 18, e1010372.
 9. Oksanen, Jari, Blanchet, F. Guillaume, Kindt, Roeland, Legendre, Pierre, Minchin, Peter R., O'Hara, R. B., Simpson, Gavin L., Solymos, Peter, Stevens, M. Henry H., & Wagner, Helene. (2015). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.3-0. Retrieved from <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
 10. Szwagrzyk J., Czerwczak M., Spatial patterns of trees in natural forest of East-Central Europe (2009). *Journal of Vegetation Science* 4(4):469 - 476

Практична робота № 6

Тема: графічне відображення матриці дистанцій між деревами в екологічному просторі за допомогою графів

R – це потужна мова програмування, яка широко використовується для статистичного аналізу і візуалізації даних, включаючи аналіз просторового розміщення особин (spatial analysis). Вона надає великий набір інструментів для роботи з просторовими даними, що робить її незамінною для екологів, географів, біологів та інших дослідників, які вивчають просторові закономірності (Eglen, 2009).

Основні можливості R для аналізу просторового розміщення

1. Обробка геопросторових даних: R підтримує формати просторових даних, такі як Shapefile, GeoJSON, KML, TIFF тощо. Для цього використовуються пакети, такі як:
 - sf (Simple Features) – для роботи з векторними даними (точки, лінії, полігони).
 - raster – для аналізу растрових даних, наприклад, карт висоти або щільності.
 - sp – класичний пакет для роботи з просторовими даними, хоча поступово замінюється пакетом sf.
2. Аналіз щільності розміщення: пакети, як-от spatstat, дозволяють моделювати і аналізувати просторові закономірності, зокрема:
 - Побудова карт щільності за допомогою ядерного оцінювання (kernel density estimation).
 - Виявлення кластерів (групувань) або аномалій у розміщенні.
 - Тестування рівномірності розподілу особин (наприклад, за допомогою функції K-Ріплі).
3. Аналіз взаємодії між об'єктами: можна оцінити, як просторове розташування однієї групи об'єктів впливає на іншу, наприклад:
 - Взаємодії між популяціями хижаків і жертв.
 - Моделювання конкуренції за ресурси.
 - Кореляції між щільністю особин і екологічними змінними (температура, вологість тощо).
4. Візуалізація даних: за допомогою пакетів ggplot2, tmap, leaflet і cartography можна створювати інтерактивні або статичні карти, які ілюструють просторове розміщення особин.
5. Інтеграція з географічними інформаційними системами (ГІС): R дозволяє експортувати дані до інших ГІС-програм (QGIS, ArcGIS) і інтегруватися з ними.
6. Статистичне моделювання просторових даних: пакет spatialreg використовується для аналізу просторової автокореляції та створення

просторових регресійних моделей. Це допомагає дослідити вплив навколишнього середовища на розподіл особин (Giorgi et al., 2022).

Графи – це абстрактна математична структура, яка використовується для моделювання парних зв'язків між об'єктами. Вони є важливим інструментом в теорії графів, галузі математики, яка вивчає властивості та взаємодії цих структур (Hashemi et al., 2024). Складовими графа являються: **вершини (вузли)** – основні елементи графа, які зазвичай позначаються кругами або точками. Вони представляють об'єкти; **ребра** – лінії, що з'єднують вершини. Вони представляють зв'язки між об'єктами.

Графи можна використовувати в біологічних дослідженнях, у тому числі для аналізу розташування дерев у просторі. Кожне дерево на досліджуваній ділянці можна представити у вигляді вершини графа. Відстань між деревами можна моделювати за допомогою ребер, а їх властивості (наприклад, близькість, конкуренція або розподіл ресурсів) - через ваги ребер. Таке дослідження буде складатись з наступних етапів:

1. Створення графа

Вершини: кожна вершина представляє дерево.

Ребра: з'єднання між вершинами, яке відображає взаємодію між деревами (наприклад, відстань між ними).

2. Застосування ваг на ребра

Вага ребра може показувати, наприклад, силу конкуренції за ресурси (вода, світло, поживні речовини) між деревами.

Ближчі дерева матимуть сильнішу взаємодію, тому вагу можна визначити як обернену пропорцію до відстані між деревами.

3. Аналіз сусідства

Використовуючи граф, можна визначити сусідів кожного дерева (тобто ті, що знаходяться в межах певної відстані). Це дозволяє оцінити конкуренцію чи створення екологічних груп.

4. Побудова мінімального остового дерева (Minimum Spanning Tree)

Використовується для визначення найкоротшого шляху між усіма деревами або для створення "екологічних зон", у яких дерева взаємодіють між собою найбільше.

5. Виявлення кластерів

Алгоритми кластеризації (наприклад, DBSCAN або Louvain) допомагають визначити групи дерев, які мають сильну взаємодію. Це корисно для вивчення локальних екологічних осередків.

Таким чином, використовуючи граф, можна побудувати діаграму для виявлення сусідніх дерев, визначити найближчого сусіда кожного дерева, моделювати конкуренцію за допомогою ваги ребер, залежно від відстані між деревами. При цьому дерева з меншими відстанями будуть мати мають сильніші взаємодії (наприклад, конкуренція). Групи тісно пов'язаних дерев можна розглядати як осередки конкуренції чи співіснування.

Мета роботи: навчитись здійснювати графічне відображення матриці дистанцій між деревами в екологічному просторі за допомогою графів засобами R-project.

Завдання:

1. Встановіть пакет `igraph`, якщо він ще не встановлений:

```
install.packages("igraph")
```

```
install.packages("vegan")
```

2. Завантажте пакет:

```
library(igraph)
```

```
library(vegan)
```

```
dist_tree<-dist(t(tree))
```

```
dist_tree<-vegdist(t(tree), "euclidean")
```

```
#"manhattan","euclidean","canberra","clark","bray","kulczynski","jaccard","gower","altGower","morisita","horn","mountford","raup","binomial","chao","cao","mahalanobis","chisq","chord","hellinger","aitchison","or","robust.aitchison"
```

```
?vegdist
```

3. Створіть граф із матриці відстаней:

```
graph <- graph.adjacency(as.matrix(dist_tree), mode="undirected", weighted=TRUE, diag=FALSE)
```

4. Побудуйте граф:

```
plot(graph, edge.width=E(graph)$weight)
```

5. Гістограма маг ребер:

```
hist(E(graph)$weight)
```

6. Обираємо тільки ті ребра, що задовольняють критерію (наприклад, вага $r \geq 20$):

```
important_edges<- E(graph)[E(graph)$weight >= 20]
```

7. Малюємо тільки важливі ребра:

```
plot(graph, edge.color = ifelse(E(graph) %in% important_edges, "blue", "white"),
edge.width = ifelse(E(graph) %in% important_edges, 2, 0.5))
```

#Tree network with the Kamada-Kawai layout algorithm

```
layout <- layout_with_kk(graph)

plot(graph, layout = layout, main = "Tree network with the Kamada-Kawai layout algorithm",
edge.color = ifelse(E(graph) %in% important_edges, "blue", "white"),
edge.width = ifelse(E(graph) %in% important_edges, 2, 0.5)
)
```

#Tree network with the Fruchterman-Reingold layout algorithm

```
plot(graph, layout = layout_with_fr,
main = "Tree network with the Fruchterman-Reingold layout algorithm",
edge.color = ifelse(E(graph) %in% important_edges, "blue", "white"),
edge.width = ifelse(E(graph) %in% important_edges, 2, 0.5)
)
```

#Tree network with the TheDrl (Distributed Recursive Layout) algorithm for large graphs layout algorithm

```
plot(graph, layout = layout_with_drl,
main = "Tree network with the Drl layout algorithm",
```

```

edge.color = ifelse(E(graph) %in% important_edges, "blue", "white"),
edge.width = ifelse(E(graph) %in% important_edges, 2, 0.5)
)

```

The layout functions in igraph always start with layout. The following table summarises them:

Methodname	Algorithmdescription
layout_randomly	Places the vertices completely randomly
layout_in_circle	Deterministic layout that places the vertices on a circle
layout_on_sphere	Deterministic layout that places the vertices evenly on the surface of a sphere
layout_with_drl	The Drl (Distributed Recursive Layout) algorithm for large graphs
layout_with_fr	Fruchterman-Reingold force-directed algorithm
layout_with_kk	Kamada-Kawai force-directed algorithm
layout_with_lgl	The LGL (Large Graph Layout) algorithm for large graphs
layout_as_tree	Reingold-Tilford tree layout, useful for (almost) tree-like graphs
layout_nicely	Layout algorithm that automatically picks one of the other algorithms based on certain properties of the graph

Питання для самоконтролю

1. Які можливості має R-проект для аналізу просторового розміщення біологічних об'єктів?
2. Що собою представляють графи?
3. Як графи можна використовувати у біологічних дослідженнях?

Список використаної та рекомендованої літератури

1. Chase, J. M., Kraft, N. J. B., Smith, K. G., Vellend, M., and Inouye, B. D. (2011). Using null models to disentangle variation in community dissimilarity from variation in α -diversity. *Ecosphere*, 2(2): art24. <https://doi.org/10.1890/ES10-00117.1>
2. Eglén SJ (2009) A Quick Guide to Teaching R Programming to Computational Biology Students. *PLoS Comput Biol* 5(8): e1000482. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000482>

3. Giorgi, F. M., Ceraolo, C., & Mercatelli, D. (2022). The R Language: An Engine for Bioinformatics and Data Science. *Life*, *12*(5), 648. <https://doi.org/10.3390/life12050648>
4. Kunakh, O. M., Ivanko, I. A., Holoborodko, K. K., Lisovets, O. I., Volkova, A. M., Nikolaieva, V. V., and Zhukov, O. V. (2022). Modeling the spatial variation of urban park ecological properties using remote sensing data. *Biosystems Diversity*, *30*(3): 213–225. <https://doi.org/10.15421/012223>
5. Legendre, P., and De Cáceres, M. (2013). Beta diversity as the variance of community data: Dissimilarity coefficients and partitioning. *Ecology Letters*, *16*(8): 951–963. <https://doi.org/10.1111/ele.12141>
6. Rastegar Hashemi, Hassan Darabi, Masoud Hashemi, Jingxia Wang, Graph theory in ecological network analysis: A systematic review for connectivity assessment, *Journal of Cleaner Production*, Volume 472, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143504>.

Питання для самостійної роботи

1. Види біологічних систем.
2. Вчення про біологічний стрес (Г. Сельє, 1936 р.), види стреси.
3. Абіотичні та біотичні фактори.
4. Підходи до вивчення систем.
5. Компоненти біологічних систем.
6. Властивості та структура біологічних систем.
7. Різні визначення понять фітоценоз та ярус.
8. Сутність вчення про парцели.
9. Біогеоценотична структура біосистем.
10. Поняття консорцій, функціональні зв'язки у консорціях.
11. Домінантні та другорядні види в угрупованнях.
12. Учення Сукачова про ярусну структуру фітоценозів.
13. Ярусна структура в популяціях тварин.
14. Фактори довкілля, які обумовлюють певний тип просторової структури.
15. Дослідження тіньової структури рослин.
16. Класифікація рослин щодо ступеню освітлення.
17. Поняття синузій.
18. Поняття просторової структури біосистем.
19. Задачі дисципліни.
20. Сутність концепції рівнів просторового розподілу.
21. Вплив масштабу досліджень на рівні точки, біогеоценозу та ландшафту.
22. Методичний апарат вивчення просторового розподілу.
23. Основні типи просторового розподілу організмів.
24. Сутність принципу Оллі.
25. Механізми, що підтримують певний тип просторового розподілу.
26. Дифузний, мозаїчний, циклічний та пульсуючий типи просторової структури.
27. Горизонтальна структура популяцій рослин. Поняття парцела.
28. Вертикальна структура популяцій рослин. Поняття ярусу.

Кунах Ольга Миколаївна
Жуков Олександр Вікторович

Просторова структура біологічних систем

навчально-методичний посібник
для практичних робіт та самостійної роботи

Підписано до друку з оригінал-макета
Формат А5

Папір друк. Ум. Друк. арк. 2,36. Облік.-видав. арк. 1,18
Наклад 100 прим. Зам. № 1124

Віддруковано на базі поліграфічно-видавничого центру «Арбуз»

49000, Дніпро, 18, а/с 1212

Тел. (066)-55-312-55

E-mail: arbuz.in.ua@gmail.com

www.arbuz.in.ua