

А. В. Головня, О. М. Кунах✉

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,  
просп. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010

**ВПЛИВ РЕКОНСТРУКЦІЇ НА ПАРКОВІ НАСАДЖЕННЯ  
УРБОЕКОСИСТЕМИ НА ПРИКЛАДІ БОТАНІЧНОГО САДУ  
ДНІПРОВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА**

Стаття присвячена дослідженню впливу реконструкції на паркові насадження, розташовані у Ботанічному саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Реконструкція ботанічного саду була проведена у 2018 році і полягала у видаленні 74 старих дерев, санітарній обрізці деяких насаджень, прокладанні асфальтових доріжок. Для визначення впливу реконструкції на зелені насадження ботанічного саду ДНУ були закладені чотири дослідних полігони: полігони а і b – у зоні реконструкції, полігони с і d – у нереконструйованій зоні. На полігонах вимірювались такі фізичні показники ґрунту, як твердість, електропровідність та вологість. Дослідження проводились у квітні – травні 2021 р. Твердість ґрунту є інформативним показником, чутливим до антропогенного впливу, його вимірювання швидко і за короткий термін дозволяє одержати значні обсяги інформації. Електропровідність пов'язана з вологістю та вмістом солей в ґрунті. Ці показники у поєднанні з фітоіндикаційними методами дозволили зробити висновки про вплив реконструкції на стан ґрунту та зелені насадження. Полігони суттєво відрізнялись внаслідок реконструкції за особливостями профільного розподілу середніх значень показника твердості ґрунту. Ґрунт зони реконструкції характеризується появою пікових значень твердості на глибинах 35–50 см та 85–90 см. Полігони а і b мають набагато більші значення твердості верхніх шарів ґрунту, ніж полігони с і d. Профільний розподіл коефіцієнта варіації твердості ґрунту на полігонах у зоні реконструкції також демонструє специфічний характер – він має виражений пік на глибині 25–40 см й поступово зменшується з глибиною. Висновок про вплив реконструкції на зміни твердості ґрунту ботанічного саду було зроблено за результатами Загальної Лінійної Моделі на підставі оцінки показника  $R_{adj}^2$ . Розподіл значень електропровідності ґрунту має виражений дзвоноподібний характер. На всіх полігонах простежується тенденція збільшення електропровідності зі збільшенням вологості. За допомогою фітоіндикаційних шкал було визначено показник гемеробії, який продемонстрував статистично достовірний лінійний зв'язок ( $p < 0.001$ ) з електропровідністю ґрунту.

*Ключові слова:* реконструкція, паркові насадження, урбоекосистема, екологія людини, моніторинг довкілля.

---

✉ E-mail: kunah\_olga@ukr.net

DOI: 10.15421/442304

A. V. Golovnya, O. M. Kunakh✉

<sup>1</sup>*Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine*

## THE RECONSTRUCTION IMPACT ON THE URBAN ECOSYSTEM PARK PLANTINGS ON THE EXAMPLE OF THE OLES GONCHAR DNIPRO NATIONAL UNIVERSITY BOTANICAL GARDEN

The article is devoted to the study of the reconstruction impact on park plantings located in the Oles Honchar Dnipro National University Botanical Garden. The reconstruction of the botanical garden was carried out in 2018 and consisted of the removal of 74 old trees, sanitary pruning of some plantings, and the laying of asphalt paths. To determine the impact of the reconstruction on the greenery of the DNU Botanical Garden, four test plots were laid down: plots a and b in the reconstruction area, plots c and d in the unreconstructed area. The following physical parameters of the soil were measured at the test sites: soil penetration resistance, electrical conductivity and moisture. The research was conducted in April – May 2021. Soil penetration resistance is an informative indicator sensitive to anthropogenic impact, its measurement is fast and allows obtaining significant amounts of information in a short time. Electrical conductivity is related to soil moisture and salt content. These indicators, combined with phytoindication methods, allowed us to draw conclusions about the impact of the reconstruction on the soil and green spaces. The landfills differed significantly after reconstruction in terms of the profile distribution of average soil penetration resistance values. The reconstruction area soil is characterized by the appearance of peak soil penetration resistance values at depths of 35–50 cm and 85–90 cm. Polygons a and b have much higher values of topsoil penetration resistance than polygons c and d. The coefficient of variation of soil penetration resistance profile distribution at the test sites in the reconstruction zone also demonstrates a specific character – it has a pronounced peak at a depth of 25–40 cm and gradually decreases with depth. The conclusion about the reconstruction impact on the soil penetration resistance of the botanical garden soil changes was made based on the results of the General Linear Model, which was estimated by the Radj<sup>2</sup> index. The distribution of soil electrical conductivity values has a pronounced bell-shaped character. At all the test sites, there is a tendency for electrical conductivity increasing which is positively correlated with moisture. By means of the phytoindicative scales the hemerobia index was determined, which demonstrated a statistically significant linear relationship ( $p < 0.001$ ) with soil electrical conductivity.

*Key words:* reconstruction, park plantings, urban ecosystem, human ecology, environmental monitoring.

### Вступ

Міські парки мають значний потенціал для надання ключових екосистемних послуг [22]. Діапазон екосистемних послуг, які можуть надавати міські парки, є широким, наприклад, очищення повітря та води, регулювання клімату, поглинання вуглецю та забезпечення середовищем існування та ресурсами для дикої флори та фауни [31]. Зелені насадження є своєрідним “бар’єром” між шкідливими викидами автомобілів, підприємств та людиною. Парки надають можливості населенню відпочити від повсякденного життя у великих містах.

Норма площі озеленення міст, встановлена Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ), дорівнює  $50 \text{ м}^2$  міських зелених насаджень на одного жителя [4]. Норма зелених насаджень загального користування для великих міст становить  $21 \text{ м}^2$  на одну людину, або 2,1 гектара на 1000 осіб [5]. Несприятливими за умовами озеленення вважаються міста, де рослинність займає менше ніж 10 % площі міста, сприятливими для життя – 40–60 %. В українських містах зелені насадження розміщені на площі 4,6 тис.  $\text{км}^2$  (38,4 % міських територій), а для загального використання вони доступні на площі 1,6 тис.  $\text{км}^2$  (13,4 % міських територій) [3]. Лише 6 великих міст України відповідають показнику норми зі значенням не меншим за  $21 \text{ м}^2$  на одну людину – це Нікополь, Біла Церква, Рівне, Львів, Івано-Франківськ, Тернопіль [1]. У місті Дніпро на 1 мешканця в середньому припадає  $14,4 \text{ м}^2$ , і навіть більша площа озеленення, і місто здається достатньо озеленим, що не зовсім відповідає дійсності, урахувуючи особливості сформованого зеленого каркасу та розташування зелених насаджень [3]. Здійснення діяльності, пов'язаної з реконструкцією зелених насаджень у містах та інших населених пунктах України, згідно з положеннями діючого законодавства, повинно проводитись з дотриманням вимог щодо їх охорони та збереження, що можливо лише на підставі своєчасної екологічної оцінки стану паркових насаджень [2]. Для високоурбанізованих територій парки стали «островами» або фрагментами середовища проживання дикої природи, що є важливою групою індикаторів здоров'я міських екосистем [32].

Міські парки є критично важливими ресурсами для фізичної активності у великих містах. У них є місця для прогулянок або бігу, а багато з них мають спеціальні спортивні майданчики для занять спортом, фізичних навантажень та інших активних видів діяльності. Але парки у містах можна використовувати не тільки для активного відпочинку, а й для відчуття краси природи, дихати свіжим повітрям і мати місце для «духовного» відпочинку (музика та мистецтво). Парки також є місцями, де люди можуть спілкуватися з друзями та сусідами, прогулятися з друзями та проводити семінари саме на природі [7, 10, 28].

Міська природа може стати економічно ефективним інструментом покращення здоров'я населення, оскільки зростає кількість доказів того, що воно пов'язане з покращенням фізичного, психологічного та соціального добробуту [26, 29]. Міські парки надають кілька екосистемних послуг, які є цінними для добробуту міських жителів, і вони також вважаються природним рішенням для вирішення багатьох екологічних проблем у містах. Серед міських екосистем парки надають кілька послуг, таких як очищення води та повітря, зменшення вітру та шуму, поглинання вуглецю, регулювання мікроклімату, середовище існування дикої природи, а також соціальне та психологічне благополуччя [22].

Рослинність у містах має важливий вплив на життя людей. Одним з таких позитивних ефектів є поліпшення мікроклімату, оскільки в містах найбільше відчуваються ефекти міського теплового острова. Деревина відіграють важливу роль у пом'якшенні теплового стресу в спекотні літні дні, головним чином завдяки своїй здатності створювати тінь. Рослини також знижують сумарну та пряму короткохвильову радіацію [9, 14]. Міські дерева сприяють мікромасштабному охолодженню шляхом випаровування, а також шляхом перехоплення сонячного випромінювання та зменшення нагрівання поверхонь

під їхніми кронами. Рослинність паркових зон, які покращують показники якості ґрунту, такі як водоутримувальна здатність, є позитивним рішенням для підтримки вологості ґрунту та зменшення використання води за мінливих кліматичних умов [15, 23]. Рекреаційна діяльність людини, наприклад витоуптування відвідувачами верхніх шарів ґрунту, може розділити територію міського парку на менші диференційовані за умовами мікросередовища, які можуть відрізнятися в характеристиках ґрунту і рослинності [25].

Міські зелені насадження поступово фрагментуються і часто містять непроникні поверхні, що серйозно послаблює функцію екологічного обслуговування системи міських зелених насаджень і знижує цінність її екосистемних послуг. Цінність екосистемних послуг міських парків полягає в тому, що саме вони дають можливість захисту та управління міськими зеленими насадженнями [31]. Наявність міських зелених насаджень є загальним рішенням для покращення екосистемних послуг очищення повітря та регулювання клімату. Структура, склад та управління рослинністю мають значення для надання екосистемних послуг з очищення повітря та регулювання клімату, що підтверджує ідею про те, що зелені насадження не можна вважати однорідними в наданні екосистемних послуг. Керовані та менш складні типи рослинності (газони та насажені ліси) мають меншу здатність забезпечувати очищення повітря та регулювання клімату, що вказує на те, що наявність складної структури є важливою для надання цих екосистемних послуг [8, 30]. Реконструкція та управління парком, як правило, сприяють збільшенню відвідуваності. Оскільки парк є місцем вільного доступу, це свідчить про те, що покращення його рекреаційних можливостей може бути особливо корисним для тих, хто має менше можливостей для платного проведення вільного часу [19]. Екологічне відновлення міських парків використовується для підвищення їх рекреаційної привабливості, покращення якості повітря, пом'якшення ефектів міських теплових островів, покращення інфільтрації зливових стоків та забезпечення інших соціальних та екологічних переваг [16].

З багатьох форм надземних і підземних навантажень, з якими стикаються міські дерева, фізичні обмеження ґрунту, як правило, є одними з найбільш стійких і найменш піддаються поліпшенню. Шкідливий вплив ущільнення відбувається через механічні перешкоди та інші непрямі впливи на ріст коренів, що призводить до занепаду рослин [13]. Щільність ґрунту також впливає на зменшення пористості, що призводить до змачення кількості повітря та вологості в ньому. Для ґрунту дуже важливо мати доступ до повітря, води та поживних речовин, а щільність ґрунту різна для різних рослин. Він визначає низку факторів, таких як швидкість росту рослини, зовнішній вигляд, висота та ширина, колір тощо [12]. Твердість ґрунту є важливою фізичною характеристикою. Він дає нам цінну інформацію про фізичні властивості верхнього горизонту ґрунту. Фізичні властивості антропогенних ґрунтів, побудованих за допомогою важкої техніки, можуть зберігатися протягом кількох десятиліть [20, 21].

Міські ґрунти часто демонструють змінені фізичні, хімічні та біологічні характеристики порівняно з місцевими неурбанізованими ґрунтами. Кілька унікальних особливостей міських ґрунтів і міських екосистем створюють велику проблему для екологічного відновлення або покращення якості ґрунту у містах [24]. Важливі фізичні характеристики – структура та твердість ґрунту – дозволяють воді та повітрю проникати в нижні шари ґрунту, а корінню легше

проростати в товщі ґрунту. Якість ґрунту відображає, наскільки добре ґрунт виконує функції підтримки біорізноманіття та продуктивності, розподілу потоків води та розчинених речовин, фільтрації та буферизації, кругообігу поживних речовин та забезпечення опори для рослин та інших структур. Управління ґрунтом має великий вплив на якість ґрунту [24]. Взаємодія між практичним управлінням парками та атмосферними опадами, попередниками кислот (наприклад,  $\text{SO}_x$  і  $\text{NO}_x$ ), важкими металами (наприклад, Pb і Zn) та іншими елементами (наприклад, Ca і K) може значною мірою пояснити помітні варіації хімічних властивостей ґрунту в межах міських парків [11].

Таким чином, якість ґрунту є однією з цільових функцій при реконструкції міських парків як елемента системи керування екосистемними послугами. Твердість ґрунту є важливою ознакою, яка вказує на стан ґрунту та його здатність ефективно виконувати екосистемні послуги. Але питання про вплив реконструкції парку на твердість ґрунтів не досліджене в сучасній науковій літературі. Тому ціллю нашого дослідження було встановити вплив реконструкції парку на твердість ґрунту.

#### **Матеріали та методи дослідження**

Для оцінки впливу реконструкції на стан паркових насаджень у межах урбоекосистеми на території Ботанічного саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара у квітні – травні 2021 р. було закладено чотири пробних полігони, два з них – на території, яка зазнала впливу реконструкції, та два – на території без реконструкції. Кожен полігон складався з 7 лінійних трансепт, у межах яких з інтервалом 3 м проводилось вимірювання твердості (через кожні 5 см до глибини 100 см), вологості та електропровідності ґрунту (у верхньому 5-сантиметровому шарі ґрунту). Твердість ґрунту є чутливим індикатором змін фізичних властивостей ґрунту під впливом рекреації. Рекреаційна трансформація поширюється уздовж ґрунтового профілю, тому для диференціальної оцінки змін властивостей ґрунту під впливом рекреації та виокремлення змін, які пов'язані саме з рекреацією, необхідні вимірювання ґрунтових властивостей у шарі ґрунту на глибину не менше 1 метра [6].

Для вимірювання електропровідності ґрунту *in situ* використовували 344 сенсор HI 76305 (Hanna Instruments, Woodsocket, R. I.), що працює разом з портативним приладом HI 993310. Тестер оцінює загальну електропровідність ґрунту, тобто об'єднану провідність ґрунтового повітря, води й часток ґрунту. Результати вимірювання приладу представлені в одиницях насиченості ґрунтового розчину солями – г/л. Порівняння результатів вимірювання приладом HI 76305 з даними лабораторних досліджень дозволили оцінити коефіцієнт перекладу одиниць як  $1 \text{ дС/м} = 155 \text{ мг/л}$  [4]. Механічний опір ґрунту визначали за допомогою ручного пенетрометра Eijkelkamp на глибину до 100 см з інтервалом 5 см. У межах кожної облікової точки вимірювання твердості ґрунту проводилось в однократній повторності. Діапазон вимірювання манометра пенетрометра Eijkelkamp становить  $10000 \text{ кН/м}^2$  ( $= 10000 \text{ кПа}$ ), діапазон шкали від 0 до  $1,0 \text{ кПа}$ . Точність в рекомендованому вимірюваному діапазоні  $\pm 8\%$ . Пенетрометр складається з вимірювального пристрою з манометром і стрижня з конусом певного діаметру на кінці. В набір входить бур, що дозволяє проникати в більш щільні шари ґрунту. Він також використовується для попереднього буріння ґрунту на глибину, де планується проведення заміру. Пенетрометрія вважається відповідним методом для оцінки

механічного опору проникненню коренів у ґрунт. Результати, отримані за допомогою цього методу, показують силу, яку необхідно прикласти для введення металевого конуса в ґрунт, та є імітацією проростання коренів рослин. Вимірювання вологості ґрунту проводилось цифровим гігрометром MG-44.

### Результати

Твердість ґрунту на вимірній глибині в межах полігону а варіювала в межах від  $1.57 \pm 0.05$  до  $4.00 \pm 0.09$  МПа (табл. 1). Градієнт твердості демонструє наявність двох локальних максимумів. Перший локальний максимум спостерігається на глибині 10–20 см, де твердість сягає рівня 1.1–4.5 МПа. Другий локальний максимум спостерігається на глибині 70–80 см, де твердість ґрунту сягає рівня 2.1–5.3 МПа. Коефіцієнт варіації твердості ґрунту знаходиться в діапазоні 21.51–59.36 %. У шарі ґрунту 0–5 см цей показник становить 32.41% та зі зростанням глибини збільшується до рівня 59.36 % у шарі ґрунту 30–35 см. Після досягнення цього локального максимуму коефіцієнт варіації зменшується і на глибині 60–100 см виходить на плато зі значеннями 21.51–25.09 %.

Таблиця 1

### Описові статистики твердості ґрунту у профілі полігону а (в МПа, N = 105)

| Шар ґрунту,<br>см | Середнє±<br>ст.помилка | Довірчий інтервал |       | CV, % | Асиметрія±<br>ст.помилка | Експес±<br>ст.помилка |
|-------------------|------------------------|-------------------|-------|-------|--------------------------|-----------------------|
|                   |                        | 2.5%              | 97.5% |       |                          |                       |
| 0–5               | 1.57±0.05              | 0.80              | 2.80  | 32.41 | 0.73±0.24                | 0.19±0.47             |
| 5–10              | 2.13±0.07              | 0.90              | 3.45  | 33.39 | 0.21±0.24                | -0.79±0.47            |
| 10–15             | 2.34±0.08              | 1.10              | 3.90  | 34.83 | 0.35±0.24                | -0.38±0.47            |
| 15–20             | 2.33±0.09              | 1.00              | 4.50  | 38.41 | 0.67±0.24                | 0.33±0.47             |
| 20–25             | 2.09±0.09              | 0.80              | 4.35  | 42.94 | 0.88±0.24                | 0.68±0.47             |
| 25–30             | 1.89±0.10              | 0.70              | 4.50  | 53.85 | 1.15±0.24                | 0.64±0.47             |
| 30–35             | 1.88±0.11              | 0.70              | 4.70  | 59.36 | 1.37±0.24                | 0.82±0.47             |
| 35–40             | 2.13±0.12              | 0.70              | 5.06  | 57.85 | 1.27±0.24                | 0.61±0.47             |
| 40–45             | 2.51±0.12              | 0.80              | 5.30  | 50.43 | 0.87±0.24                | -0.10±0.47            |
| 45–50             | 3.01±0.11              | 1.20              | 5.40  | 39.19 | 0.48±0.24                | -0.59±0.47            |
| 50–55             | 3.47±0.10              | 1.70              | 5.27  | 29.20 | 0.11±0.24                | -0.90±0.47            |
| 55–60             | 3.70±0.09              | 2.02              | 5.17  | 25.09 | -0.18±0.24               | -0.78±0.47            |
| 60–65             | 3.82±0.08              | 2.15              | 5.19  | 22.77 | -0.19±0.24               | -0.78±0.47            |
| 65–70             | 3.91±0.09              | 2.20              | 5.26  | 22.56 | -0.25±0.24               | -0.70±0.47            |
| 70–75             | 3.94±0.09              | 2.15              | 5.28  | 22.32 | -0.20±0.24               | -0.72±0.47            |
| 75–80             | 3.96±0.09              | 2.10              | 5.37  | 23.55 | -0.28±0.24               | -0.82±0.47            |
| 80–85             | 4.00±0.09              | 2.15              | 5.32  | 22.95 | -0.40±0.24               | -0.59±0.47            |
| 85–90             | 3.97±0.09              | 1.95              | 5.32  | 22.71 | -0.34±0.24               | -0.49±0.47            |
| 90–95             | 3.96±0.08              | 2.15              | 5.27  | 21.51 | -0.29±0.24               | -0.37±0.47            |
| 95–100            | 3.94±0.08              | 2.30              | 5.30  | 21.53 | -0.20±0.24               | -0.47±0.47            |

Асиметрія розподілу твердості ґрунту змінюється від позитивних значень у верхніх шарах ґрунту до від'ємних значень у більш глибоких шарах. Позитивні

значення відповідають розподілам із зсувом уліво. Відповідно, від'ємні значення маркують розподіл із зсувом вправо. Таким чином, у верхніх шарах показники твердості менші за середні зустрічаються частіше, тоді як у більш глибоких шарах показники твердості більші за середні зустрічаються частіше. Екссес розподілу переважно від'ємний, за винятком показників твердості на глибині 15–40 см, де екссес позитивний. Позитивний екссес вказує на переважання модельних значень, ніж це можна передбачати з точки зору випадкового розподілу. Відповідно від'ємний екссес вказує на бімодальний розподіл.

Твердість ґрунту на вимірній глибині в межах полігону *b* варіювала в межах від  $1.55 \pm 0.05$  до  $4.16 \pm 0.08$  МПа (табл. 2). Градієнт твердості демонструє наявність двох локальних максимумів. Перший локальний максимум спостерігається на глибині 10–25 см, де твердість сягає рівня 0.8–4.9 МПа. Другий локальний максимум спостерігається на глибині 80–90 см, де твердість ґрунту сягає рівня 2.6–5.35 МПа. Коефіцієнт варіації твердості ґрунту знаходиться в діапазоні 17.98–56.48 %. У шарі ґрунту 0–5 см цей показник становить 33.06 % та зі зростанням глибини збільшується до рівня 56.48 % у шарі ґрунту 30–35 см. Після досягнення цього локального максимуму коефіцієнт варіації зменшується і на глибині 60–100 см виходить на плато зі значеннями 17.96–18.69 %.

Таблиця 2

**Описові статистики твердості ґрунту у профілі полігону *b* (в МПа, N = 105)**

| Шар ґрунту,<br>см | Середнє±<br>ст.помилка | Довірчий інтервал |       | CV, % | Асиметрія±<br>ст.помилка | Екссес±<br>ст.помилка |
|-------------------|------------------------|-------------------|-------|-------|--------------------------|-----------------------|
|                   |                        | 2.5%              | 97.5% |       |                          |                       |
| 0–5               | 1.55±0.05              | 0.80              | 2.60  | 33.06 | 0.30±0.24                | -0.89±0.47            |
| 5–10              | 2.27±0.09              | 0.90              | 4.00  | 39.70 | 0.29±0.24                | -1.16±0.47            |
| 10–15             | 2.62±0.11              | 0.80              | 4.80  | 44.28 | 0.28±0.24                | -1.11±0.47            |
| 15–20             | 2.70±0.13              | 0.90              | 4.90  | 48.07 | 0.29±0.24                | -1.34±0.47            |
| 20–25             | 2.55±0.13              | 0.75              | 4.89  | 52.03 | 0.39±0.24                | -1.27±0.47            |
| 25–30             | 2.34±0.13              | 0.70              | 4.79  | 56.15 | 0.50±0.24                | -1.10±0.47            |
| 30–35             | 2.17±0.12              | 0.70              | 4.71  | 56.48 | 0.70±0.24                | -0.78±0.47            |
| 35–40             | 2.16±0.12              | 0.80              | 4.87  | 56.00 | 0.94±0.24                | -0.23±0.47            |
| 40–45             | 2.40±0.11              | 1.00              | 4.93  | 46.11 | 1.01±0.24                | 0.15±0.47             |
| 45–50             | 2.78±0.09              | 1.40              | 4.90  | 34.52 | 0.80±0.24                | -0.01±0.47            |
| 50–55             | 3.17±0.08              | 1.90              | 4.99  | 26.88 | 0.64±0.24                | -0.20±0.47            |
| 55–60             | 3.53±0.07              | 2.40              | 5.09  | 21.40 | 0.50±0.24                | -0.45±0.47            |
| 60–65             | 3.79±0.07              | 2.60              | 5.17  | 18.56 | 0.28±0.24                | -0.61±0.47            |
| 65–70             | 3.91±0.07              | 2.50              | 5.20  | 17.98 | 0.05±0.24                | -0.64±0.47            |
| 70–75             | 4.03±0.07              | 2.60              | 5.29  | 18.51 | -0.02±0.24               | -0.83±0.47            |
| 75–80             | 4.05±0.07              | 2.65              | 5.30  | 18.67 | -0.04±0.24               | -0.80±0.47            |
| 80–85             | 4.14±0.07              | 2.60              | 5.29  | 18.07 | -0.11±0.24               | -0.78±0.47            |
| 85–90             | 4.16±0.08              | 2.70              | 5.35  | 18.69 | -0.19±0.24               | -0.67±0.47            |
| 90–95             | 4.13±0.07              | 2.75              | 5.36  | 18.37 | 0.01±0.24                | -1.11±0.47            |
| 95–100            | 4.12±0.07              | 2.75              | 5.30  | 18.06 | -0.03±0.24               | -0.89±0.47            |

Асиметрія розподілу твердості ґрунту змінюється від позитивних значень у верхніх шарах ґрунту до глибини 65–70 см до від’ємних значень у більш глибоких шарах. Позитивні значення відповідають розподілам із зсувом уліво. Відповідно від’ємні значення маркують розподіл із зсувом вправо. Таким чином, у верхніх шарах показники твердості менші за середні зустрічаються частіше, тоді як у більш глибоких шарах показники твердості більші за середні зустрічаються частіше. Екссес розподілу переважно від’ємний, за винятком показників твердості на глибині 40–45 см, де екссес статистично не відрізняється від нуля. Відповідно від’ємний екссес указує на бімодальний розподіл.

Твердість ґрунту на виміряній глибині в межах полігону с варіювала в межах від  $1.05 \pm 0.04$  до  $3.11 \pm 0.05$  МПа (табл. 3). Градієнт твердості демонструє наявність двох локальних максимумів. Перший локальний максимум спостерігається на глибині 10–15 см, де твердість сягає рівня 1.19 МПа. Другий локальний максимум спостерігається на глибині 80–95 см, де твердість ґрунту сягає рівня 2.1–4.15 МПа. Коефіцієнт варіації твердості ґрунту знаходиться в діапазоні 14.87–35.78 %. У шарі ґрунту 0–5 см цей показник становить 35.78 % та зі зростанням глибини зменшується до рівня 15.13 % у шарі ґрунту 95–100 см. На глибині 30–45 см спостерігався локальний максимум коефіцієнта варіації, який приймав значення 24.59–28.6 %.

Таблиця 3

**Описові статистики твердості ґрунту в профілі полігону с (в МПа, N = 105)**

| Шар ґрунту,<br>см | Середнє±<br>ст.помилка | Довірчий інтервал |       | CV, % | Асиметрія±<br>ст.помилка | Екссес±<br>ст.помилка |
|-------------------|------------------------|-------------------|-------|-------|--------------------------|-----------------------|
|                   |                        | 2.5%              | 97.5% |       |                          |                       |
| 0–5               | 1.05±0.04              | 0.70              | 1.95  | 35.78 | 2.31±0.24                | 6.50±0.47             |
| 5–10              | 1.17±0.03              | 0.80              | 1.79  | 25.85 | 2.46±0.24                | 10.62±0.47            |
| 10–15             | 1.19±0.03              | 0.70              | 2.00  | 24.94 | 1.97±0.24                | 7.81±0.47             |
| 15–20             | 1.14±0.03              | 0.60              | 1.80  | 24.32 | 1.09±0.24                | 3.41±0.47             |
| 20–25             | 1.13±0.03              | 0.60              | 1.70  | 23.65 | 0.16±0.24                | -0.20±0.47            |
| 25–30             | 1.11±0.02              | 0.70              | 1.60  | 22.57 | 0.15±0.24                | -0.54±0.47            |
| 30–35             | 1.19±0.03              | 0.69              | 1.90  | 25.42 | 1.24±0.24                | 3.99±0.47             |
| 35–40             | 1.35±0.04              | 0.70              | 2.15  | 28.60 | 1.11±0.24                | 3.56±0.47             |
| 40–45             | 1.70±0.04              | 1.00              | 2.50  | 24.59 | 0.82±0.24                | 1.64±0.47             |
| 45–50             | 2.00±0.04              | 1.30              | 2.80  | 20.36 | 0.53±0.24                | 0.07±0.47             |
| 50–55             | 2.32±0.04              | 1.65              | 3.25  | 17.34 | 0.47±0.24                | 0.01±0.47             |
| 55–60             | 2.50±0.04              | 1.75              | 3.40  | 16.30 | 0.31±0.24                | 0.21±0.47             |
| 60–65             | 2.62±0.04              | 1.80              | 3.40  | 15.11 | 0.26±0.24                | 0.62±0.47             |
| 65–70             | 2.79±0.04              | 2.10              | 3.75  | 14.87 | 0.44±0.24                | 0.80±0.47             |
| 70–75             | 2.88±0.04              | 2.10              | 3.80  | 14.99 | 0.66±0.24                | 1.20±0.47             |
| 75–80             | 2.97±0.05              | 2.05              | 3.85  | 15.58 | 0.48±0.24                | 1.40±0.47             |
| 80–85             | 3.05±0.05              | 2.15              | 4.15  | 16.14 | 0.48±0.24                | 1.11±0.47             |
| 85–90             | 3.08±0.05              | 2.25              | 4.15  | 16.53 | 0.42±0.24                | 0.97±0.47             |
| 90–95             | 3.04±0.05              | 2.10              | 4.05  | 15.83 | 0.33±0.24                | 1.26±0.47             |
| 95–100            | 3.11±0.05              | 2.15              | 4.10  | 15.13 | 0.43±0.24                | 1.04±0.47             |



Асиметрія розподілу твердості ґрунту в межах усього профілю приймала тільки позитивні значення. Позитивні значення відповідають розподілам з зсувом уліво. Ексцес розподілу переважно позитивний, за винятком показників твердості на глибині 20–30 см, де ексцес статистично не відрізняється від нуля. Відповідно позитивний ексцес указує на розподіл, для якого характерним є переважання модальних значень випадкової альтернативи.

Твердість ґрунту на вимірній глибині в межах полігону d варіювала в межах від  $1.04 \pm 0.02$  до  $3.00 \pm 0.04$  МПа (табл. 4). Градієнт твердості демонструє наявність двох локальних максимумів. Перший локальний максимум спостерігається на глибині 5–15 см, де твердість сягає рівня 1.24–1.26 МПа. Другий локальний максимум спостерігається на глибині 75–100 см, де твердість ґрунту сягає рівня 1.5–3.90 МПа. Коефіцієнт варіації твердості ґрунту знаходиться в діапазоні 15.20–29.68 %. У шарі ґрунту 0–5 см цей показник становить 19.68 % та зі зростанням глибини зростає до рівня 29.68 % у шарі ґрунту 25–30 см, після чого зменшується та виходить на плато на глибині 55–100 см, де знаходиться на рівні 15.20–18.00 %.

Таблиця 4

**Описові статистики твердості ґрунту в профілі полігону d (в МПа, N = 105)**

| Шар ґрунту,<br>см | Середнє±<br>ст.помилка | Довірчий інтервал |       | CV, % | Асиметрія±<br>ст.помилка | Ексцес±<br>ст.помилка |
|-------------------|------------------------|-------------------|-------|-------|--------------------------|-----------------------|
|                   |                        | 2.5%              | 97.5% |       |                          |                       |
| 0–5               | 1.04±0.02              | 0.70              | 1.50  | 19.68 | 0.47±0.24                | -0.51±0.47            |
| 5–10              | 1.26±0.03              | 0.85              | 1.80  | 21.97 | 1.07±0.24                | 1.35±0.47             |
| 10–15             | 1.24±0.03              | 0.75              | 2.05  | 25.87 | 0.88±0.24                | 0.87±0.47             |
| 15–20             | 1.13±0.03              | 0.70              | 1.75  | 25.66 | 0.62±0.24                | 0.48±0.47             |
| 20–25             | 1.04±0.03              | 0.60              | 1.75  | 28.86 | 0.57±0.24                | -0.22±0.47            |
| 25–30             | 0.98±0.03              | 0.60              | 1.75  | 29.68 | 0.57±0.24                | 0.20±0.47             |
| 30–35             | 0.99±0.03              | 0.60              | 1.65  | 25.88 | 0.77±0.24                | 0.45±0.47             |
| 35–40             | 1.23±0.03              | 0.70              | 2.10  | 27.85 | 0.50±0.24                | 0.24±0.47             |
| 40–45             | 1.66±0.04              | 0.90              | 2.60  | 24.30 | 0.10±0.24                | -0.16±0.47            |
| 45–50             | 2.06±0.04              | 1.00              | 2.85  | 20.43 | -0.34±0.24               | 0.41±0.47             |
| 50–55             | 2.33±0.04              | 1.40              | 3.20  | 18.51 | -0.19±0.24               | 0.21±0.47             |
| 55–60             | 2.49±0.04              | 1.50              | 3.35  | 17.52 | -0.34±0.24               | 0.28±0.47             |
| 60–65             | 2.61±0.05              | 1.45              | 3.40  | 17.96 | -0.69±0.24               | 1.73±0.47             |
| 65–70             | 2.71±0.05              | 1.45              | 3.60  | 17.27 | -0.87±0.24               | 2.80±0.47             |
| 70–75             | 2.77±0.05              | 1.50              | 3.70  | 18.00 | -0.55±0.24               | 0.87±0.47             |
| 75–80             | 2.82±0.05              | 1.60              | 3.75  | 17.43 | -0.62±0.24               | 1.55±0.47             |
| 80–85             | 2.84±0.05              | 1.50              | 3.70  | 17.93 | -0.95±0.24               | 1.63±0.47             |
| 85–90             | 2.98±0.05              | 1.80              | 3.90  | 16.67 | -0.36±0.24               | 0.94±0.47             |
| 90–95             | 3.00±0.04              | 1.80              | 3.75  | 15.23 | -0.62±0.24               | 0.40±0.47             |
| 95–100            | 2.95±0.04              | 1.75              | 3.75  | 15.20 | -0.37±0.24               | 0.45±0.47             |

Асиметрія розподілу твердості ґрунту у межах усього профілю приймала позитивні значення на глибині 0–45 см та від’ємні значення на глибині 45–100 см. Позитивні значення відповідають розподілам із зсувом уліво. Екссес розподілу переважно позитивний, за винятком показників твердості на глибині 0–5, 20–25 та 40–45 см, де екссес статистично не відрізняється від нуля. Відповідно позитивний екссес вказує на розподіл, для якого характерним є переважання модальних значень випадкової альтернативи.

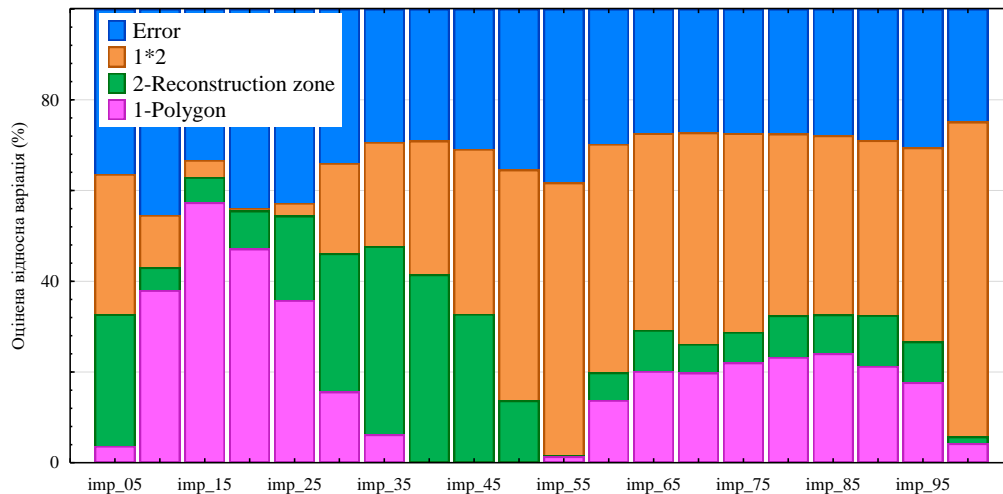
Загальна лінійна модель свідчить про те, що тип полігону ( $F = 4.04$ ,  $p < 0.001$ ) та зона реконструкції ( $F = 150.8$ ,  $p < 0.001$ ) здатні статистично вірогідно пояснити варіювання твердості ґрунту. Просторова неоднорідність (категоріальна змінна, яка позначає відповідний полігон) та вплив реконструкції парку дозволяють пояснити 20–43 % варіювання твердості ґрунту на різних глибинах (табл. 5). До вказаних впливів найбільш чутливими є шари на глибині 5–20 см, де досліджені фактори здатні пояснити 50–55 % варіювання твердості ґрунту, та на глибині 60–75 см, де фактори здатні пояснити 51 % варіювання твердості ґрунту.

Таблиця 5

**Оцінка впливу на твердість реконструкції парку та просторової неоднорідності за результатами загальної лінійної моделі**

| Шар ґрунту, см | $R_{adj}^2$ | $F$ -відношення | $p$ -рівень |
|----------------|-------------|-----------------|-------------|
| 0–5            | 0.40        | 92.57           | <0.001      |
| 5–10           | 0.55        | 168.56          | <0.001      |
| 10–15          | 0.66        | 275.01          | <0.001      |
| 15–20          | 0.50        | 142.89          | <0.001      |
| 20–25          | 0.46        | 122.31          | <0.001      |
| 25–30          | 0.37        | 81.83           | <0.001      |
| 30–35          | 0.32        | 65.69           | <0.001      |
| 35–40          | 0.20        | 35.92           | <0.001      |
| 40–45          | 0.20        | 35.66           | <0.001      |
| 45–50          | 0.28        | 54.37           | <0.001      |
| 50–55          | 0.35        | 76.95           | <0.001      |
| 55–60          | 0.45        | 117.12          | <0.001      |
| 60–65          | 0.51        | 148.20          | <0.001      |
| 65–70          | 0.51        | 147.95          | <0.001      |
| 70–75          | 0.51        | 144.50          | <0.001      |
| 75–80          | 0.48        | 128.33          | <0.001      |
| 80–85          | 0.48        | 127.99          | <0.001      |
| 85–90          | 0.43        | 107.05          | <0.001      |
| 90–95          | 0.43        | 104.78          | <0.001      |
| 95–100         | 0.42        | 103.57          | <0.001      |

Внесок предикторів у варіювання твердості ґрунту змінюється з глибиною (рис. 1). Полігон як маркер просторової неоднорідності ґрунтових умов, який не залежить від реконструкції, найбільшою мірою визначає варіювання твердості ґрунту на глибині 5–30 та 55–95 см. До впливу реконструкції найбільшою мірою чутлива твердість на глибині 0–5 та 45–100 см.



**Рис. 1.** Оцінена відносна варіація за допомогою типу полігону та зони реконструкції як предиктори

### Обговорення

Твердість ґрунту пов'язана з поняттям його ущільнення. Ущільнення ґрунту включає мікроскопічне перегрупування та наближення твердих частинок одна до одної, а, отже, збільшення об'ємної щільності ґрунту (Panayiotopoulos et al., 1994). Але ступінь компактності є кількісним параметром і визначається як «відношення фактичної об'ємної щільності до еталонної об'ємної щільності, отриманої шляхом одновісного стиснення вологого ґрунту (достатнього для дренажу) при статичному тиску 200 кПа» (Håkansson, 1990; Lipiec and Natano, 2003). Ущільнення ґрунту супроводжується видаленням ґрунтового повітря, зміною структури ґрунту та макроскопічним підвищенням міцності ґрунту (Taylor, 1971).

Ущільнення ґрунту, залежно від структури ґрунту, впливає на фізичні, хімічні та біологічні процеси, які в ньому відбуваються (Gupta et al., 1989). Ущільнення ґрунту також визначає можливість проникнення коренів у ґрунтову систему та позначається на гідрологічних процесах (Rodrigo-Comino et al., 2017).

Твердість ґрунту вважається одним з основних показників, за допомогою якого можна оцінити ґрунт як середовище існування рослин, у тому числі паркових насаджень (Центило та ін., 2019). При підвищенні твердості ґрунту погіршуються умови появи сходів рослин на його поверхні, а високий рівень твердості ґрунту, особливо у поєднанні з його низькою вологістю, значно перешкоджає можливості росту кореневої системи рослин (Lukianchykova, 1977; Shylina et al., 2006).

### Висновки

1. Твердість та електропровідність ґрунту є інформативними показниками для оцінки впливу реконструкції на паркові насадження в урбоекосистемах.
2. Реконструкційна діяльність змінює характер профільного розподілу значень твердості ґрунту та підвищує твердість верхніх ґрунтових шарів, що негативно позначається на властивостях ґрунту як середовища існування рослин.
3. Зміни показника електропровідності ґрунту на реконструйованих ділянках мають позитивний лінійний зв'язок зі змінами показника гемеробії, який відображає ступінь толерантності рослинного угруповання до антропогенного впливу.

### Бібліографічні посилання

1. **Бурак О. М.** Проблеми і перспективи розвитку сфери озеленення в Україні // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Економічні науки. 2014. Вип. 9(3). С. 154–157.
2. Закон України № 2807-IV «Про благоустрій населених пунктів», 2005.
3. **Зібцева О. В.** Динаміка площ зелених насаджень у населених пунктах України // Наукові доповіді НУБіП України. 2017. № 4(68). С. 143–149.
4. Проект Закону України "Про зелені насадження міст та інших населених пунктів» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc41?Pf3511=55455>
5. Проектирование садов и парков – основные принципы композиции зеленых насаждений [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-49/5.htm>
6. **Центило Л. В., Цюк О. А.** Динаміка змін твердості ґрунту залежно від його основного обробітку // Вісник Полтавської державної аграрної академії, № 1. 2019. С. 147–153.
7. **Cohen, D. A., McKenzie, T. L., Sehgal, A., Williamson, S., Golinelli, D., & Lurie, N.** (2007). [Contribution of Public Parks to Physical Activity. American Journal of Public Health, 97\(3\), 509–514.](#)
8. **Cohen, P., Potchter, O., & Schnell, I.** (2014). [A methodological approach to the environmental quantitative assessment of urban parks. Applied Geography, 48, 87–101.](#)
9. **Georgi, N. J., & Zafiriadis, K.** (2006). [The impact of park trees on microclimate in urban areas. Urban Ecosystems, 9\(3\), 195–209.](#)
10. **Godbey, G. C., Caldwell, L. L., Floyd, M., & Payne, L. L.** (2005). [Contributions of leisure studies and recreation and park management research to the active living agenda. American Journal of Preventive Medicine, 28\(2\), 150–158.](#)
11. **Hou, E.-O., Xiang, H.-M., Li, J.-L., Li, J., & Wen, D.-Z.** (2015). [Soil acidification and heavy metals in urban parks as affected by reconstruction intensity in a humid subtropical environment. Pedosphere, 25\(1\), 82–92.](#)
12. **Jim, C. Y.** (1987). [Trampling Impacts of Recreationists on Picnic Sites in a Hong Kong Country Park. Environmental Conservation, 14\(2\), 117–127.](#)
13. **Jim, C. Y.** (1993). [Soil Compaction as a Constraint to Tree Growth in Tropical & Subtropical Urban Habitats. Environmental Conservation, 20\(1\), 35–49.](#)
14. **Konarska, J., Lindberg, F., Larsson, A., Thorsson, S., & Holmer, B.** (2014). [Transmissivity of solar radiation through crowns of single urban trees –](#)

[application for outdoor thermal comfort modelling. Theoretical and Applied Climatology, 117\(3–4\), 363–376.](#)

15. [Kotzen, B. \(2003\). An investigation of shade under six different tree species of the Negev desert towards their potential use for enhancing micro-climatic conditions in landscape architectural development. Journal of Arid Environments, 55\(2\), 231–274.](#)

16. [Li, Y. \(2020\). Reconstruction of plant space in the urban park guided by visual experience of tourists – A case study of the Ait park afforestation design in Fuzhou. In H. Shoji, S. Koyama, T. Kato, K. Muramatsu, T. Yamanaka, P. Lévy, K. Chen, & A. Lokman \(Eds.\), Proceedings of the 8th International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research \(pp. 349–358\). Springer.](#)

17. [Lipiec, J.; Hatano, R. \(2003\) Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. Volume 116, Issues 1–2, September 2003, Pages 107–136.](#)

18. [Lukianchykova, Z. Y. \(1977\). Izmenenie elementov plodorodiia pochvy pod vlianiem protyvotrozyonnoi ahrotekhniki i udobrenii \[Change of soil fertility elements under the influence of antierosion agrotechnology and fertilizers\]. Ahrokhimiia i pochvovedenie, 34, pp. 21–29.](#)

19. [Mäntymaa, E., Jokinen, M., Juutinen, A., Lankia, T., & Louhi, P. \(2021\). Providing ecological, cultural and commercial services in an urban park: A travel cost–contingent behavior application in Finland. Landscape and Urban Planning, 209, 104042.](#)

20. [Medvedev, V. V. \(1988\). Optimization of Agrophysical Properties of Chernozems. Agropromizdat.](#)

21. [Medvedev, V. V. \(2009\). Soil penetration resistance and penetrographs in studies of tillage technologies. Eurasian Soil Science, 42\(3\), 299–309.](#)

22. [Mexia, T., Vieira, J., Príncipe, A., Anjos, A., Silva, P., Lopes, N., Freitas, C., Santos-Reis, M., Correia, O., Branquinho, C., & Pinho, P. \(2018\). Ecosystem services: Urban parks under a magnifying glass. Environmental Research, 160, 469–478.](#)

23. [Pariante, S. \(2002\). Spatial Patterns of Soil Moisture as Affected by Shrubs, in Different Climatic Conditions. Environmental Monitoring and Assessment, 73, 237–251.](#)

24. [Pavao-Zuckerman, M. A. \(2008\). The nature of urban soils and their role in ecological restoration in cities. Restoration Ecology, 16\(4\), 642–649.](#)

25. [Sarah, P., Zhevelev, H. M., & Oz, A. \(2015\). Urban park soil and vegetation: Effects of natural and anthropogenic factors. Pedosphere, 25\(3\), 392–404.](#)

26. [Shanahan, D. F., Fuller, R. A., Bush, R., Lin, B. B., & Gaston, K. J. \(2015\). The Health Benefits of Urban Nature: How Much Do We Need? BioScience, 65\(5\), 476–485.](#)

27. [Shylina, L. I., Shapoval, I. E., Yermolaiev, M. M. \(2006\). Zmina strukturno-ahreatnoho stanu chornozemu typovoho pid vplyvom chynnykiv zemlerobstva \[Changing the structural and aggregate state of black soil is typical under the influence of factors of agriculture\]. Ahrokhimiia i gruntoznavstvo, 2, pp. 188–190](#)

28. [Suckall, N., Fraser, E. D. G., Cooper, T., & Quinn, C. \(2009\). Visitor perceptions of rural landscapes: A case study in the Peak District National Park, England. Journal of Environmental Management, 90\(2\), 1195–1203.](#)

29. [van den Bosch, M., & Ode Sang, A. \(2017\). Urban natural environments as nature-based solutions for improved public health – A systematic review of reviews. Environmental Research, 158, 373–384.](#)
30. [Vieira, J., Matos, P., Mexia, T., Silva, P., Lopes, N., Freitas, C., Correia, O., Santos-Reis, M., Branquinho, C., & Pinho, P. \(2018\). Green spaces are not all the same for the provision of air purification and climate regulation services: The case of urban parks. Environmental Research, 160, 306–313.](#)
31. [Xie, Q., Yue, Y., Sun, Q., Chen, S., Lee, S.-B., & Kim, S. W. \(2019\). Assessment of Ecosystem Service Values of Urban Parks in Improving Air Quality: A Case Study of Wuhan, China. Sustainability, 11\(22\), 6519.](#)
32. [Yang, X., Tan, X., Chen, C., & Wang, Y. \(2020\). The influence of urban park characteristics on bird diversity in Nanjing, China. Avian Research, 11\(1\), 45.](#)

*Надійшла до редколегії 12.11.2023 р.*