

## ОЦІНКА АНТИОКСИДАНТНОГО ПОТЕНЦІАЛУ РОСЛИН УРБОЕКОСИСТЕМ В УМОВАХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ

МАДАНИ М.М. – кандидат технічних наук, доцент

[orcid.org/0000-0001-9386-7364](https://orcid.org/0000-0001-9386-7364)

Одеський національний технічний університет

**Постановка проблеми.** В останні десятиліття відзначається зростання площ урбанізованих територій, що створює багато кризових екологічних проблем. У межах міст спостерігається сумарний вплив великої кількості негативних факторів, а також максимальна концентрація хімічних речовин, що призводить до погіршення умов життя населення. Так, наприклад, атмосферне повітря м. Одеси за складом забруднюючих речовин є типовим для сучасних міст із розвинутою транспортною інфраструктурою [1].

У спектрі забруднюючих речовин міського середовища значне місце посідають важкі метали (ВМ), особливо свинець та його сполуки. Цей елемент відноситься до токсикантів першого класу екологічної небезпеки, має високу розчинність, біохімічну активність і канцерогенність. Свинець має підвищену тенденцію до біоконцентрування та комплексотворення, може перебувати у навколишньому середовищі у мінеральній та органічній формах [2-4]. В атмосферному повітрі свинець здатний утворювати різноманітні оксиди, вступати в реакції з кислотами та лугами. До основних джерел свинцю як елемента-забруднювача належать вихлопні гази, аерозолі автотранспорту та техногенний пил, який містить велику кількість свинцю у вигляді сполук, погано розчинних у воді, наприклад оксидів та сульфідів [3]. Сумарне надходження свинцю в атмосферу від автотранспорту на території України оцінюється в 30 тис. т щорічно [5].

Сполуки свинцю негативно впливають на мікробіологічну активність ґрунтів та ріст рослин. При надходженні до рослинного організму свинець порушує процеси фотосинтезу та дихання, поділ клітин, поглинання води кореневими системами, обмін речовин загалом, інгібуючи ряд ферментів. Крім того, він може істотно знижувати доступність рослинам багатьох біогенних елементів [3, 4, 6, 7].

Дослідження різних урбоєкосистем показують [1], що для ефективного управління якістю міського середовища необхідно мати достатню інформацію про еколого-фізіологічний стан міських фітоценозів, що дозволяє оцінити функціональний внесок кожного виду в зміну якості середовища в напрямку її поліпшення. У зв'язку з цим оцінка впливу забруднення міських ґрунтів свинцем на стан міських екосистем в даний час набуває винятково важливого значення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед великого числа антропогенних полутантів все більшого значення набуває токсична дія ВМ. Свинець є пріоритетним забруднювачем атмосферного повітря, ґрунту та інших компонентів навколишнього середовища, і його накопичення у середовищі йде найвищими темпами.

Природний вміст Pb у ґрунтах йде від материнських порід. У літературі є велика кількість даних про вміст Pb у ґрунті, проте іноді важко відокремити результати, що характеризують фонові рівні Pb у ґрунтах та пов'язані із забрудненням поверхневого шару ґрунтів [8, 9]. Середній фоновий вміст Pb у верхніх горизонтах ґрунтів коливається в межах від 3 до 189 мг/кг. Високі рівні Pb (вище 100 мг/кг) виявлені лише у ґрунтах Данії, Японії, Великобританії та Ірландії і, очевидно, відображають вплив промислового забруднення [8]. За даними різних авторів [8, 9], кларк Pb у ґрунті становить від 10 до 40 мг/кг. Фоновий вміст у ґрунті України – 15–50 мг/кг [9]. Однак ці дослідження в більшій мірі були спрямовані на визначення вмісту Pb у ґрунті, а не на його вплив на антиоксидантний статус рослин.

Рослини – одні з найчутливіших індикаторів техногенного забруднення міського середовища [1]. Це призводить до накопичення в них ВМ, внаслідок чого спостерігаються значні зміни в інтенсивності та спрямованості багатьох метаболічних реакцій. Найбільш небезпечним наслідком у цьому випадку вважається розвиток у рослинних клітинах окислювального стресу, пов'язаного з надмірною генерацією активних форм кисню (АФК) [4, 10]. Внаслідок підвищеної генерації АФК у клітинах може статися окислення ліпідів, вуглеводів, білків, пошкодження ДНК та РНК, дезорганізація цитоскелету [4, 11].

В екстремальних умовах найважливішим механізмом стійкості рослин є активізація багаторівневої біохімічної системи антиоксидантного захисту, до якої входить велика кількість компонентів. Серед них особливе місце займають низькомолекулярні метаболіти, які виявляють антиоксидантні властивості (аскорбінова кислота, каротиноїди, флавоноїди, поліфеноли та ін.), та антиоксидантні ферменти (СОД, каталаза, пероксидаза) [12–14].

У реалізації адаптаційного потенціалу особлива роль відводиться фенольним та поліфенольним сполукам. Вони відіграють важливу роль в окисно-відновних реакціях та процесах нейтралізації АФК [15–19]. Поліфеноли блокують зв'язування активних форм мутагенів з ДНК, пригнічують вільнорадикальні реакції, підвищують точність репарації ДНК, знижують кількість клітин із хромосомними абераціями [20].

Важливою особливістю чагарникових та деревних рослин є функціональна поліваріантність, здатна сформувати так званий адаптаційний потенціал рослин, що становить основу їх виживання та успішного розвитку, незважаючи на вплив широкого спектру негативних факторів навколишнього середовища [21].

В роботах [22-25] показано, що існує кореляція між генетично детермінованою стійкістю та рівнем антиоксидантної активності. Встановлено, що у стійких сортів та видів вихідний антиоксидантний потенціал, як правило, вищий, ніж у нестійких. Крім того, під впливом стресових факторів у стійких організмів симптоми окислювального стресу проявляються набагато слабше, а також відбувається швидке посилення антиоксидантної захисту.

Гончарук Е. та Хайрулліна В. [26, 27] вважають, що важливим елементом антиоксидантної системи є фенольні сполуки, або поліфеноли, – одні з найпоширеніших у рослинних клітинах речовин вторинної природи. Ці сполуки мають у своїй молекулі ароматичне (бензольне) кільце, а також одну або кілька гідроксильних груп, пов'язаних з атомами карбону ароматичного кільця. Відмінні риси поліфенолів – універсальність розповсюдження, велика кількість сполук (близько 9000) та різноманітність структур [26, 27]. Усі вони утворюються за участю шикіматного та ацетатомалонатного (полікетидного) шляхів. Інша їхня відмінна риса – легке окислення з утворенням високореактивних проміжних продуктів типу семіхінонних радикалів або орто-хінонів, здатність взаємодіяти з білками з утворенням водневих зв'язків, а також схильність до комплексотворення з іонами металів [26, 27]. Відомо, що багато поліфенолів мають високу антиоксидантну активність, яка не поступається аскорбату або токоферолу [15–18]. Вони здатні інактивувати вільні радикали, тим самим захищати клітини від АФК. Проте внесок поліфенолів у загальну активність антиоксидантної системи досліджено ще недостатньо. У зв'язку з цим вивчення особливостей накопичення фенольних сполук та їх вкладу в антиоксидантну систему захисту рослин в умовах екологічного стресу є дуже актуальним.

**Мета** дослідження – оцінити вплив свинцю в ґрунті на антиоксидантний статус деревних та трав'янистих рослин, який формується фенольними сполуками (на прикладі м. Одеси); виявити види, стійкі до токсичного стресу, які можуть бути рекомендовані для створення санітарно-захисних насаджень та озеленення міського середовища в умовах антропогенного забруднення.

**Матеріали та методи досліджень.** Накопичення Рв досліджували в акумулятивному горизонті міських ґрунтів основних геохімічних ландшафтів м. Одеси (агроселітебний, селітебний, промислово-комунальний). Як контрольні використовували зони рекреації, що мають мінімальне техногенне навантаження та природний фоновий рівень поллютантів, віддалені на 40–50 км від великих промислових джерел забруднення навколишнього середовища (сmt. Овідіополь).

Вміст низькомолекулярних антиоксидантів аналізували у тканинах найбільш поширених у міських ландшафтах видів деревних: береза повисла (*Betula pendula* Roth), липа серцеподібна (*Tilia cordata* Mill.), клен гостролистий (*Acer platanoides* L.), тополя чорна (*Populus nigra* L.), і трав'янистих рослин: грястиця збірна (*Dactylis glomerata* L.), пижма звичайна (*Tanacetum vulgare* L.), подорожник великий (*Plantago major* L.), кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* Wigg.), деревій звичай-

ний (*Achillea millefolium* L.), конюшина лучна (*Trifolium pratense* L.), конюшина біла (*Trifolium repens* L.). З чагарників аналізували: бирючину звичайну (*Ligustrum vulgare* L.), обліпиху крушинову (*Hippophae rhamnoides* L.), таволгу Вангутта (*Spiraea vanhouttei* (Briot.) Zab.), бузок звичайний (*Syringa vulgaris* L.), чубушник вінцевий (*Philadelphus coronarius* L.), сніжноягідник білий (*Symphoricarpos rivularis* Suksdorf.), барбарис звичайний (*Berberis vulgaris* L.), бузину чорну (*Sambucus nigra* L.), смородину альпійську (*Ribes alpinum* L.), калину звичайну (*Viburnum opulus* 'Roseum'), троянду зморшкувату (*Rosa rugosa* Thunb.).

Рослинний матеріал збирали протягом вегетаційного періоду (липень) 2020 р. У кожній функціональній зоні рослинні та ґрунтові проби збирали з трьох дослідницьких ділянок. Зразки відбирали на нижніх гілках дорослих дерев із зазначенням місця відбору, виду, діаметра дерева, висоти взяття проби. Для аналізу використовували змішану пробу листя з дерев та чагарників одного виду, у трав'янистих рослин – вегетативну наземну частину. Виділення середньої проби проводилось у суху погоду відповідно до загальноприйнятих методик [1]. Для складання змішаної проби використовували 3 екз. одного виду ( $n = 3$ , де  $n$  – біохімічна повторність від змішаної проби).

ґрунтові проби відбирали з верхнього акумулятивного горизонту потужністю від 0 до 10 см методом конверту [3]. Вміст свинцю в пробах визначали методом рентгенофлуоресцентного аналізу на приладі "Спектроскан Макс-G". Зразки ґрунту для аналізу готували у відповідності до методики М049-П/10 [28].

Сумарний вміст фенольних з'єднань (відновлених форм поліфенолів) у досліджуваних рослинах визначали спектрофотометричним методом. Як аналітичну використовували реакцію утворення забарвленого в синій колір розчину берлінської лазурі, що виникає при взаємодії двовалентного заліза та гексоціаноферату калію ( $K_3Fe(CN)_6$ ). Інтенсивність забарвлення одержаного розчину при довжині хвилі 720 нм дозволяє судити про кількість фенольних сполук. Як стандартні зразки використовували розчини галової кислоти. Наважку рослинного матеріалу розтирали до гомогенного стану в присутності підкисленого 96%-ого етанолу (20 : 1), гомогенат центрифугували при 4500 г протягом 30 хв [29]. Оптичну густину розчинів визначали на спектрофотометрі "Shimadzu UV3600" (Shimadzu, Japan).

Сумарний вміст антиоксидантів (водорозчинних відновлених форм) визначали амперметричним методом на приладі "Цвет Яуза-01-AA" за методикою [30]. Сутність цього методу полягає у вимірюванні електричного струму, що виникає при окисленні досліджуваної речовини на поверхні робочого електрода при певному потенціалі. Попередньо будували градувальну залежність сигналу зразка порівняння (кверцетину) від його концентрації та за допомогою отриманого градування розраховували вміст водорозчинних антиоксидантів у досліджуваних зразках в одиницях концентрації кверцетину. Метод має високу селективність визначення СВА в пробі. Чутливість амперметричного детектора (АД) дуже висока ( $\sim 10^{-12}$  А). Межа виявлення АД – на рівні нано чи пікограмів [30].

Статистичну обробку даних проводили у програмі Statistica ver. 12 (Statsoft Inc., Thulsa, OK, USA). Для виявлення статистично вірних відмінностей між варіантами експерименту дані обробляли за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA). Як критерій достовірності відмінностей використовувався тест множинних порівнянь Тюкі (Tukey's HSD test) за рівня значущості  $p < 0,05$ . Попередньо було проведено тест Шапіро-Уїлка для перевірки нормальності розподілу даних, який не виявив перешкод для застосування дисперсійного аналізу. Ступінь взаємозв'язку двох змінних оцінювали за допомогою коефіцієнта кореляції Пірсона ( $r$ -Пірсона).

Міру подібності реакції антиоксидантної системи рослинних об'єктів при техногенному забрудненні визначали ієрархічним кластерним аналізом у програмі Statistica ver. 12, підтримка bootstrap кластерів при  $N = 1000$  здійснена у програмі PAST ver. 3.17 [31]. У кластерному аналізі для об'єднання даних використовувався метод Уорда (Ward's method), відстань об'єднання – евклідова відстань. У ході дослідження було відібрано та проаналізовано 330 рослинних та 45 ґрунтових проб у триразовій повторності. У таблицях наведено статистично опрацьовані дані у вигляді середніх арифметичних значень та їх стандартних помилок.

#### Результати досліджень

**Визначення вмісту свинцю в акумулятивному горизонті ґрунтів.** Аналіз вмісту свинцю в акумулятивному горизонті ґрунтів (0–10 см) різних функціональних зон міста показав, що його максимальна кількість спостерігалась у промислово-комунальних та селітебних з підвищеним транспортним навантаженням зонах (75,6–108,4 мг/кг). Максимальна концентрація свинцю у верхньому шарі ґрунту цих ділянок перевищувала його мінімальний фоновий вміст у 5,9 разів. В агроселітебній та селітебній зонах вміст свинцю в акумулятивному горизонті ґрунтів перевищував фон у 1,3–1,6 та 2,6–2,9 рази відповідно (табл. 1). У ході дослідження виявлено надлишкове накопичення свинцю в акумулятивному горизонті міських ґрунтів не лише у відношенні до фону, а й до ОДК металу (32 мг/кг). У пробах ґрунтів селітебних та промислово-комунальних ділянок (42% території міста) перевищення нормативу становило 1,5–3,4 рази (ДСТУ 7875:2015), у пробах агроселітебної зони перевищення екологічного нормативу не виявлено (15% території міста).

Основні причини накопичення Pb у поверхневих ґрунтових горизонтах трансаккумулятивних ландшафтів (ПКтаТЗ) – здатність його сорбуватися мінеральними та органічними компонентами з утворенням стійких сполук та близьке розташування корінних порід [32]. Загалом причини досить сильного забруднення ґрун-

тів урбанізованих екосистем Pb можуть бути різними, але основними є атмотехногенні викиди підприємств та автомобільного транспорту [1]. Ще один фактор, який збільшує акумуляцію свинцю в міських ґрунтах, – це їхнє підлужування. Вже зараз для 88% території м. Одеси характерна слаболужна та лужна реакція ґрунтового розчину (рН 7,5–8,0), і лише 10% міських ґрунтів мають слабокислу (5,5–6,5), а 2% – нейтральну реакцію [1]. У зв'язку з цим винос і міграційна здатність багатьох ВМ, у тому числі й свинцю, сильно порушується, що і призводить до їх акумуляції у верхньому ґрунтовому горизонті, викликаючи трансформацію ґрунтового-геохімічної структури урбоекосистем.

**Аналіз вмісту суми фенольних сполук та СВА** у листі рослин різних функціональних зон дозволяє зробити висновок, що в умовах забруднення ґрунтів свинцем активність фенольних компонентів антиоксидантної системи деревних, чагарникових та трав'янистих рослин зазнає значних змін, які мають кількісний та якісний характер.

Аналіз вихідного (фонового) сумарного вмісту низькомолекулярних водорозчинних антиоксидантів, а також фенольних сполук у листі деревних, трав'янистих та чагарникових рослин, що проростають у зоні рекреації та відпочинку, показав, що трав'янисті рослини із ЗРВ відрізняються від деревних та чагарникових форм меншим значенням СВА, у тому числі і фенольної компоненти (рис. 1).

Найбільш чутливі до забруднення ґрунту свинцем трав'янисті рослини. Так, у більшості видів трав (6) із збільшенням у ґрунті кількості металу спостерігалось зниження вмісту фенольних сполук у середньому в 1,4–3,1 рази. Виняток становила грядиця збірна – у її листках на забруднених ділянках частка поліфенолів збільшилася порівняно з фоном у 3,5 рази.

Аналіз фонового вмісту поліфенолів та СВА показав відмінності у накопиченні цих з'єднань у різних таксономічних групах. Вміст антиоксидантів у рослинах визначається насамперед конститутивними особливостями виду та таксону та додатково – природою діючого стресора. Отже, поліфеноли або інші групи водорозчинних антиоксидантів у рослинах можуть виступати як хемотаксономічні, екологічні, адаптаційні маркери.

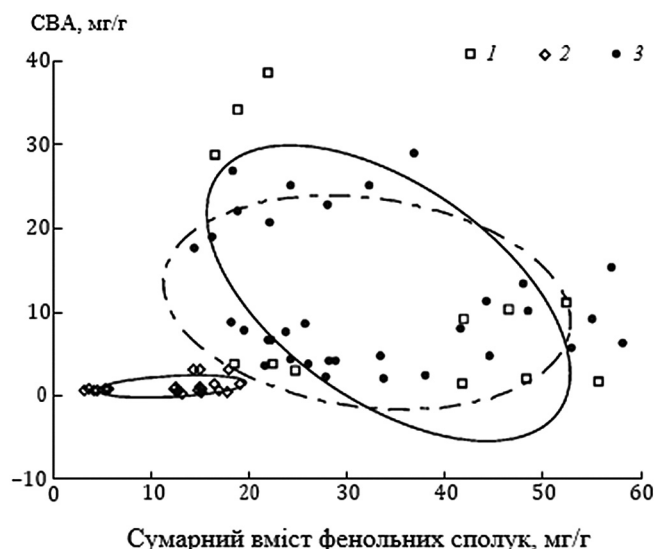
Найбільш чутливі до забруднення ґрунту свинцем трав'янисті рослини. Так, у більшості видів трав (6) із збільшенням у ґрунті кількості металу спостерігалось зниження вмісту фенольних сполук у середньому в 1,4–3,1 рази. Виняток становила грядиця збірна – у її листках на забруднених ділянках частка поліфенолів збільшилася порівняно з фоном у 3,5 рази.

Таблиця 1

**Вміст свинцю в акумулятивному горизонті ґрунтів (0–10 см) різних функціональних зон м. Одеси, мг/кг**

K*	Тип ландшафту			ПКтаТЗ
	ЗРВ	АС	СЗ	
25,0	18,4–19,2	23,7–29,4	48,6–52,7	75,6–108,4

Примітка: ЗРВ – зони рекреації та відпочинку (фон); АС – агроселітебні зони; СЗ – селітебні зони; ПКтаТЗ – промислово-комунальні та транспортні зони; K\* – середній фоновий вміст елемента за даними [8]. У таблиці вказано довірчий (95%-ний) інтервал для середнього значення



**Рис. 1. Діаграма розсіювання сумарного вмісту водорозчинних низькомолекулярних антиоксидантів (CBA) залежно від рівня фенольних сполук у листі деревних, трав'янистих та чагарникових рослин, що проростають у зоні рекреації та відпочинку (фон): 1 – деревні види; 2 – трав'яні рослини; 3 – чагарники**

Аналіз фонового вмісту поліфенолів та CBA показав відмінності у накопиченні цих з'єднань у різних таксономічних групах. Вміст антиоксидантів у рослинах визначається насамперед конститутивними особливостями виду та таксону та додатково – природою діючого стресора. Отже, поліфеноли або інші групи водорозчинних антиоксидантів у рослинах можуть виступати як хемотаксономічні, екологічні, адаптаційні маркери.

У чагарників зменшення концентрації поліфенолів під дією поллютанта спостерігалось в листі звичайної калини, бузку звичайного, смородини альпійської, чубушника вінцевого та сніжноягідника білого: у зоні максимального забруднення воно зменшувалося в порівнянні з фоном в 1,3–1,9 рази (табл. 2). У листях бирючини звичайної, обліпихи крушинової та таволги Вангутта збільшення вмісту в ґрунті свинцю стимулювало накопичення фенолів у середньому в 1,3 рази, а в листі барбарису звичайного, бузини чорної та троянди зморшкуватій на різних ділянках воно не мало достовірних відмінностей у порівнянні з фоном. У листі деревних рослин накопичення поліфенолів мало різноспрямований характер: у липи серцеподібної та клена гостролистого (ПКтаТЗ) спостерігалось зниження вмісту поліфенолів у 1,8–2,4 рази, у листі берези повислої та тополі чорної – підвищення їх рівня 1,7–2,8 рази у порівнянні з контролем.

Оцінку антиоксидантної активності рослинних тканин в умовах забруднення міського середовища свинцем наведено в табл. 3. Максимальний вміст водорозчинних антиоксидантів спостерігався у рослин у зоні ЗРВ (фон). Зі збільшенням антропогенного навантаження їхній рівень знижувався, досягаючи мінімальних значень у зоні ПКтаТЗ: у деревних видів зниження

CBA становило від 64,1 до 588%, у листі чагарників – у 1,7–4,5 рази порівняно з фоном. З трав'янистих форм найбільш схильними до впливу свинцю виявилися пижма звичайна, подорожник великий і кульбаба лікарська: зниження вмісту CBA складало 600–1383% від їх фонових значень.

Аналіз даних про сумарний вміст фенольних сполук та водорозчинних антиоксидантів у досліджуваних рослинах з різних функціональних зон, що відрізняються вмістом Pb у ґрунті, виявив види рослин з високою негативною та позитивною кореляцією між цими показниками: у листі тополі чорної, берези повислої, бирючини звичайної, обліпихи крушинової, таволги Вангутта, грестиці збірної між фенольними сполуками та антиоксидантною активністю (АОА) виявлено сильну негативну кореляцію ( $r = -0,82 \dots -0,98$ ); у листі липи серцеподібної, бузку звичайного, чубушника вінцевого, сніжноягідника білого, бузини чорної, смородини альпійської, калини звичайної, пижми звичайної, подорожника великого, кульбаби лікарської, деревію звичайну, конюшини лучної та білої – сильна позитивна кореляційна залежність ( $r = 0,85 \dots 0,98$ ); у листі клена гостролистого, барбарису звичайного, троянди зморшкуватій значущої кореляції між накопиченням цих сполук не виявлено (табл. 4).

**Виявлення подібності реакції антиоксидантної системи рослинних об'єктів.** Для виявлення подібності реакції антиоксидантної системи рослинних об'єктів при техногенному забрудненні був проведений кластерний аналіз даних за значеннями  $b_0$ - і  $b_1$ -коефіцієнтів регресійних рівнянь залежності рівня реакційної здатності низькомолекулярних антиоксидантів від сумарного вмісту поліфенолів у трав'янистих, чагарникових

Таблиця 2

Сумарний вміст фенольних сполук у листі деревних, чагарникових та трав'янистих рослин різних функціональних зон м. Одеси, мг (у перерахунку на гаєву кислоту)/г сухої маси

Вид	Тип ландшафту*			
	ЗРВ	АС	СЗ	ПКтаТЗ
Деревні види				
Береза повисла	21,96 ± 2,26 <sup>b</sup>	24,05 ± 2,47 <sup>b</sup>	29,71 ± 3,10 <sup>ab</sup>	37,08 ± 3,86 <sup>a</sup>
Липа серцеподібна	48,74 ± 4,92 <sup>a</sup>	42,07 ± 4,32 <sup>a</sup>	38,30 ± 3,94 <sup>ab</sup>	27,93 ± 2,84 <sup>b</sup>
Клен гостролистий	47,13 ± 4,79 <sup>a</sup>	44,39 ± 4,52 <sup>a</sup>	30,81 ± 3,21 <sup>b</sup>	19,88 ± 1,92 <sup>c</sup>
Тополя чорна	19,20 ± 2,04 <sup>c</sup>	18,44 ± 1,80 <sup>c</sup>	28,34 ± 2,93 <sup>b</sup>	54,62 ± 5,53 <sup>a</sup>
Трав'янисті рослини				
Грястиця збірна	3,60 ± 0,37 <sup>c</sup>	3,77 ± 0,38 <sup>c</sup>	8,40 ± 0,89 <sup>b</sup>	12,76 ± 1,27 <sup>a</sup>
Пижма звичайна	13,38 ± 1,42 <sup>a</sup>	13,23 ± 1,34 <sup>a</sup>	10,24 ± 1,01 <sup>b</sup>	5,97 ± 0,59 <sup>c</sup>
Подорожник великий	5,12 ± 0,44 <sup>a</sup>	4,68 ± 0,42 <sup>ab</sup>	4,05 ± 0,38 <sup>b</sup>	3,68 ± 0,36 <sup>b</sup>
Кульбаба лікарська	15,33 ± 1,62 <sup>a</sup>	14,27 ± 1,43 <sup>ab</sup>	11,83 ± 1,16 <sup>b</sup>	8,15 ± 0,82 <sup>c</sup>
Деревій звичайний	14,77 ± 1,48 <sup>a</sup>	12,43 ± 1,18 <sup>ab</sup>	10,55 ± 1,07 <sup>bc</sup>	9,08 ± 0,95 <sup>c</sup>
Конюшина лучна	15,73 ± 1,42 <sup>a</sup>	13,27 ± 1,26 <sup>ab</sup>	10,61 ± 1,02 <sup>b</sup>	5,21 ± 0,48 <sup>c</sup>
Конюшина біла	16,82 ± 1,51 <sup>a</sup>	14,12 ± 1,20 <sup>ab</sup>	11,66 ± 1,23 <sup>b</sup>	7,21 ± 0,65 <sup>c</sup>
Чагарники				
Бирючина звичайна	16,55 ± 1,53 <sup>b</sup>	17,34 ± 1,75 <sup>ab</sup>	19,67 ± 1,86 <sup>ab</sup>	21,35 ± 2,14 <sup>a</sup>
Обліпіха крушинова	52,02 ± 5,18 <sup>b</sup>	50,09 ± 4,69 <sup>b</sup>	55,76 ± 5,47 <sup>ab</sup>	68,67 ± 6,56 <sup>a</sup>
Таволга Вангутта	24,85 ± 2,44 <sup>a</sup>	27,64 ± 2,68 <sup>a</sup>	29,33 ± 2,89 <sup>a</sup>	32,49 ± 3,24 <sup>a</sup>
Бузок звичайний	32,50 ± 3,18 <sup>a</sup>	28,46 ± 2,75 <sup>ab</sup>	23,44 ± 2,32 <sup>bc</sup>	20,25 ± 1,95 <sup>c</sup>
Чубушник вінцевий	22,41 ± 2,19 <sup>a</sup>	23,45 ± 2,28 <sup>a</sup>	18,79 ± 1,71 <sup>a</sup>	12,07 ± 1,16 <sup>b</sup>
Сніжноягідник білий	33,35 ± 3,28 <sup>a</sup>	32,09 ± 3,19 <sup>a</sup>	28,74 ± 2,72 <sup>a</sup>	17,56 ± 1,69 <sup>b</sup>
Барбарис звичайний	21,47 ± 2,13 <sup>a</sup>	24,58 ± 2,39 <sup>a</sup>	20,17 ± 2,18 <sup>a</sup>	24,96 ± 2,45 <sup>a</sup>
Бузина чорна	21,66 ± 2,14 <sup>a</sup>	21,43 ± 2,13 <sup>a</sup>	20,32 ± 1,95 <sup>a</sup>	19,79 ± 1,94 <sup>a</sup>
Смородина альпійська	49,92 ± 4,96 <sup>a</sup>	47,65 ± 4,73 <sup>a</sup>	41,27 ± 4,12 <sup>a</sup>	29,08 ± 2,86 <sup>b</sup>
Калина звичайна	29,65 ± 2,93 <sup>a</sup>	26,91 ± 2,63 <sup>ab</sup>	23,17 ± 2,25 <sup>bc</sup>	20,16 ± 1,98 <sup>c</sup>
Троянда зморшкувата	48,61 ± 4,75 <sup>a</sup>	46,29 ± 4,08 <sup>a</sup>	54,34 ± 5,65 <sup>a</sup>	49,32 ± 4,08 <sup>a</sup>

\* ЗРВ – зони рекреації та відпочинку (фон), СЗ – селітебні зони, ПКтаТЗ – промислово-комунальні та транспортні зони. a, b, c – достовірно розрізнені середні значення згідно з тестом Тьюкі при  $p < 0,05$ .

Таблиця 3

Сумарний вміст антиоксидантів (СВА) у листі деревних, чагарникових та трав'янистих рослин різних функціональних зон м. Одеси, мг (у перерахунку на кверцетин)/г сухої маси

Вид	Тип ландшафту*			
	ЗРВ	АС	СЗ	ПКтаТЗ
1	2	3	4	5
Деревні види				
Береза повисла	3.42 ± 0.34 <sup>b</sup>	4.56 ± 0.45 <sup>a</sup>	2.96 ± 0.3 <sup>b</sup>	1.23 ± 0.11 <sup>c</sup>
Липа серцеподібна	1.59 ± 0.16 <sup>a</sup>	1.47 ± 0.15 <sup>a</sup>	0.98 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.27 ± 0.02 <sup>c</sup>
Клен гостролистий	10.1 ± 0.91 <sup>b</sup>	13.56 ± 1.41 <sup>a</sup>	11.12 ± 1.10 <sup>ab</sup>	6.16 ± 0.60 <sup>c</sup>
Тополя чорна	33.83 ± 3.42 <sup>a</sup>	27.66 ± 2.63 <sup>ab</sup>	24.85 ± 2.43 <sup>b</sup>	12.27 ± 1.14 <sup>c</sup>
Трав'янисті рослини				
Грястиця збірна	0.69 ± 0.07 <sup>b</sup>	1.09 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.71 ± 0.07 <sup>b</sup>	0.16 ± 0.02 <sup>c</sup>
Пижма звичайна	0.83 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.00 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.38 ± 0.03 <sup>c</sup>	0.06 ± 0.01 <sup>d</sup>
Подорожник великий	0.74 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.49 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.32 ± 0.03 <sup>c</sup>	0.06 ± 0.01 <sup>d</sup>
Кульбаба лікарська	0.36 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.35 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.30 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.06 ± 0.01 <sup>b</sup>
Деревій звичайний	0.56 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.28 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.20 ± 0.02 <sup>bc</sup>	0.12 ± 0.01 <sup>c</sup>
Конюшина лучна	3.06 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.88 ± 0.17 <sup>b</sup>	1.65 ± 0.16 <sup>b</sup>	0.82 ± 0.08 <sup>c</sup>
Конюшина біла	1.24 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.66 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.48 ± 0.05 <sup>bc</sup>	0.42 ± 0.04 <sup>c</sup>
Чагарники				
Бирючина звичайна	19.35 ± 1.87 <sup>a</sup>	15.44 ± 1.52 <sup>b</sup>	10.64 ± 1.09 <sup>c</sup>	4.26 ± 0.45 <sup>d</sup>
Обліпіха крушинова	5.49 ± 0.56 <sup>a</sup>	4.97 ± 0.46 <sup>ab</sup>	3.86 ± 0.37 <sup>bc</sup>	3.21 ± 0.29 <sup>c</sup>
Таволга Вангутта	3.94 ± 0.37 <sup>a</sup>	3.51 ± 0.34 <sup>a</sup>	2.61 ± 0.25 <sup>b</sup>	2.14 ± 0.20 <sup>b</sup>
Бузок звичайний	25.42 ± 2.41 <sup>a</sup>	24.12 ± 2.09 <sup>ab</sup>	20.13 ± 1.87 <sup>b</sup>	9.25 ± 0.98 <sup>c</sup>
Чубушник вінцевий	7.54 ± 0.72 <sup>a</sup>	6.82 ± 0.64 <sup>a</sup>	5.22 ± 0.19 <sup>b</sup>	3.25 ± 0.32 <sup>c</sup>

1	2	3	4	5
Сніжноягідник білий	2.12 ± 0.19 <sup>a</sup>	1.72 ± 0.16 <sup>b</sup>	1.25 ± 0.11 <sup>c</sup>	0.79 ± 0.08 <sup>d</sup>
Барбарис звичайний	7.56 ± 0.71 <sup>a</sup>	6.44 ± 0.66 <sup>a</sup>	4.51 ± 0.42 <sup>b</sup>	2.78 ± 0.25 <sup>c</sup>
Бузина чорна	24.12 ± 2.34 <sup>a</sup>	20.77 ± 2.11 <sup>ab</sup>	16.34 ± 1.72 <sup>b</sup>	6.12 ± 0.63 <sup>c</sup>
Смородина альпійська	13.25 ± 1.28 <sup>a</sup>	10.37 ± 0.96 <sup>b</sup>	8.41 ± 0.85 <sup>b</sup>	3.96 ± 0.38 <sup>c</sup>
Калина звичайна	4.17 ± 0.38 <sup>a</sup>	3.52 ± 0.36 <sup>ab</sup>	2.79 ± 0.28 <sup>b</sup>	1.52 ± 0.48 <sup>c</sup>
Троянда зморшкувата	8.97 ± 0.85 <sup>a</sup>	6.63 ± 0.64 <sup>b</sup>	5.33 ± 0.52 <sup>b</sup>	2.86 ± 0.27 <sup>c</sup>

\* Умовні позначення див. у табл. 2.

Таблиця 4

Вплив концентрації фенольних сполук (X) на рівень реакційної здатності низькомолекулярних АО (Y) у листі деревних, чагарникових та трав'янистих рослин різних функціональних зон м. Одеси: результати простої лінійної регресії ( $Y = b_0 \pm b_1 X, n = 12$ )

Вид	$b_0 \pm SE$	$p(b_0)$	$b_1 \pm SE$	$p(b_1)$	R
Деревні види					
Береза повисла	7,463 ± 0,877	<0,001	- 0,157 ± 0,030	0,002	- 0,906
Липа серцеподібна	-1,503 ± 0,223	0,001	0,066 ± 0,006	<0,001	0,978
Клен гостролистий	6,474 ± 2,133	0,023	<b>0,126 ± 0,059</b>	<b>0,077</b>	<b>0,657</b>
Тополя чорна	35,667 ± 3,431	<0,001	- 0,359 ± 0,097	0,010	- 0,834
Трав'янисті рослини					
Грястиця збірна	1,163 ± 0,122	<0,001	- 0,077 ± 0,015	0,002	-0,901
Пижма звичайна	- 0,611 ± 0,147	0,006	0,110 ± 0,013	<0,001	0,958
Подорожник великий	-1,083 ± 0,173	0,001	0,344 ± 0,040	<0,001	0,962
Кульбаба лікарська	<b>- 0,243 ± 0,103</b>	<b>0,056</b>	0,041 ± 0,008	0,002	0,898
Деревій звичайний	- 0,614 ± 0,152	0,007	0,078 ± 0,013	0,001	0,925
Конюшина лучна	<b>- 0,631 ± 0,352</b>	<b>0,124</b>	0,220 ± 0,031	<0,001	0,946
Конюшина біла	<b>- 0,307 ± 0,256</b>	<b>0,275</b>	0,084 ± 0,021	0,007	0,856
Чагарники					
Бирючина звичайна	58,959 ± 3,937	<0,001	-2,479 ± 0,206	<0,001	- 0,908
Обліпіха крушинова	10,973 ± 1,665	0,001	- 0,118 ± 0,029	0,007	- 0,856
Таволга Вангутта	9,677 ± 0,661	<0,001	- 0,232 ± 0,023	<0,001	- 0,972
Бузок звичайний	- 6,829 ± 6,887	0,360	1,044 ± 0,270	0,008	0,844
Чубушник вінцевий	<b>-1,014 ± 1,136</b>	<b>0,406</b>	0,345 ± 0,059	0,001	0,923
Сніжноягідник білий	<b>- 0,668 ± 0,420</b>	<b>0,163</b>	0,075 ± 0,015	0,002	0,899
Барбарис звичайний	<b>11,417 ± 9,958</b>	<b>0,295</b>	<b>- 0,278 ± 0,434</b>	<b>0,545</b>	<b>- 0,253</b>
Бузина чорна	- 89,029 ± 30,398	0,026	5,001 ± 1,443	0,013	0,817
Смородина альпійська	<b>- 5,789 ± 2,625</b>	<b>0,070</b>	0,349 ± 0,062	0,001	0,917
Калина звичайна	-2,713 ± 0,984	0,033	0,235 ± 0,040	0,001	0,923
Троянда зморшкувата	<b>13,220 ± 9,032</b>	<b>0,194</b>	<b>- 0,154 ± 0,183</b>	<b>0,431</b>	<b>- 0,326</b>

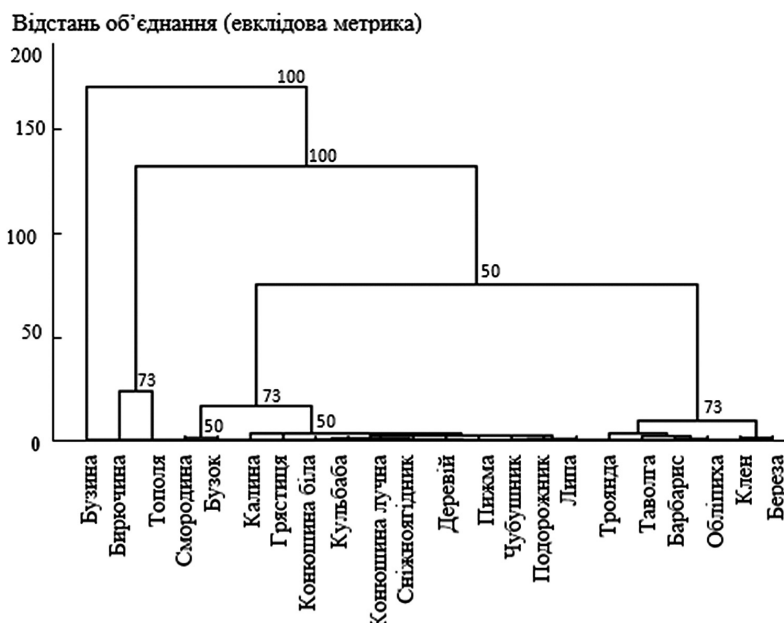
Примітка: R – коефіцієнт кореляції; напівжирним шрифтом виділено статистично незначимі коефіцієнти ( $p > 0,05$ ).

та деревних рослинах усіх досліджених функціональних зон. Результати аналізу представлені у формі вертикальної дендрограми.

Як видно із рис. 2, досліджені види рослин можна розділити на чотири кластери. Бузина чорна формує найвіддаленіший кластер за особливістю реакції – різке падіння сумарного вмісту водорозчинних антиоксидантів на рівні слабого падіння пулу поліфенолів  $b_1 = 5,0006$ ,  $b_0 = -89,029$ . У другий кластер увійшли тополя чорна і бирючина звичайна. Для цих видів рослин характерне збільшення накопичення поліфенолів у тканинах в умовах техногенного стресу у поєднанні з високим фоновим рівнем антиоксидантів у них (коефіцієнти регресії  $b_1 = -0,359$ ,  $b_0 = 35,6$  та  $b_1 = -2,479$ ,  $b_0 = 58,9$  для бирючини та тополі відповідно). Третій кластер включає такі

види рослин: смородина альпійська, бузок звичайний, калина звичайна, грястиця збірна, конюшина біла і конюшина лучна, кульбаба лікарська, сніжноягідник білий, деревій звичайний, пижма звичайна, чубушник вінцевий, подорожник великий, липа серцеподібна. Практично для всіх видів даного кластера, за винятком грястиці збірної, характерне зниження сумарного вмісту поліфенолів, що супроводжується зменшенням реакційної здатності низькомолекулярних антиоксидантів під дією техногенного стресу.

Четвертий кластер формують такі види рослин, як береза повисла, клен гостролистий, обліпіха крушинова, барбарис звичайний, таволга Вангутта, троянда зморшкувата. Рослини цієї групи характеризувалися помірним зниженням сумарного вмісту антиоксидантів



**Рис. 2.** Класифікація рослин різних функціональних зон методом Уорда за значеннями  $b_0$ - та  $b_1$ -коефіцієнтів регресійних рівнянь залежності рівня реакційної здатності низькомолекулярних антиоксидантів від сумарного вмісту поліфенолів. Значення бутстрапа розраховані на 1000 повторень

на фоні незначного підвищення рівня поліфенолів. Виняток склав клен гостролистий, для якого виявлено різке падіння рівня поліфенолів при техногенному стресі.

**Висновки.** Аналіз отриманих у ході дослідження даних дозволяє зробити висновок, що в умовах забруднення ґрунтів свинцем активність фенольних компонентів антиоксидантної системи деревних, чагарникових та трав'янистих рослин зазнає значних змін.

Встановлено, що за характером зміни активності поліфенолів та СВА в умовах техногенного стресу рослини можуть бути об'єднані у 4 кластери: першу групу утворює бузина чорна; до другої групи увійшли тополя чорна і бирючина звичайна; у третю групу за результатами кластерного аналізу потрапили смородина альпійська, бузок звичайний, калина звичайна, грястиця збірна, конюшина біла та конюшина лучна, кульбаба лікарська, сніжногідник білий, деревій звичайний, пижма звичайна, липа серцеподібна; до складу четвертої групи увійшли береза повисла, клен гостролистий, обліпиха крушинова, барбарис звичайний, таволга Вангутта, троянда зморшквата.

За результатами оцінки реакційної здатності низькомолекулярних водорозчинних антиоксидантів встановлено, що у досліджуваних рослинах такі види, як бузина чорна, бирючина звичайна та тополя чорна, мають найвищий адаптаційний потенціал в умовах антропогенного забруднення. Поліфеноли відіграють значну роль у формуванні стійкості цих видів до екологічного стресу. З трав'янистих рослин грястиця збірна за рахунок стимуляції накопичення поліфенолів має більш високу фізіологічну стійкість.

Отримані експериментальні дані підтверджують важливу роль фенольних сполук у життєдіяльності рос-

лин, у тому числі їх значний внесок у функціонування антиоксидантної системи рослинних клітин, механізм дії якої залежить від умов навколишнього середовища та впливу різних стресових факторів, зокрема й забруднення Pb.

Результати дослідження екофізіологічної реакції антиоксидантної системи рослин особливо цінні для виявлення видів, що стійкі до екологічного стресу. Види з високою АОА можуть бути рекомендовані для створення санітарно-захисних насаджень, озеленення міського середовища, а також ці види будуть корисні в галузі селекції та інтродукції рослин. Отримані результати можуть бути використані для комплексної діагностики стійкості міських рослин до антропогенного впливу, а також для вдосконалення підходів та методів моніторингу промислового забруднення міських територій.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Цикало А.Л., Космачова А.М., Смирнов В.М. Експериментальне дослідження накопичення важких металів рослинами та перспективи використання рослин для попередження забруднення довкілля урбанізованих територій. *Холодильна техніка і технології*. 2015. Вип. 51. С. 96–101.
2. Khan S., Cao Q., Hesham A.E.-L. et al. Soil enzymatic activities and microbial community structure with different application rates of Cd and Pb. *J. of Environmental Sciences*. 2007. V. 19. № 7. P. 834-840.
3. Важкі метали в об'єктах довкілля Київського мегаполісу / за редакцією А.І. Самчука, І.В. Кураєвої. Київ : Наш формат, 2019. 164 с.
4. Han Y., Zhang L., Yang Y. et al. Pb uptake and toxicity to *Iris halophila* tested on Pb mine tailing materials. *Environmental Pollution*. 2016. V. 214. P. 510–516.

5. Чемерис І.А., Загоруйко Н.В., Конякін С.М. Фітомоніторинг викидів автотранспорту в умовах міського середовища. Людина та довкілля. *Проблеми неоекології*. № 3–4, 2013. С. 141–146.
6. Довгалюк А. Забруднення довкілля токсичними металами та їх індикація за допомогою рослинних тестових систем. *Біологічні Студії*. 2013. Том 7. №1. С. 197–204.
7. Romeh A.A., Khamis M.A., Metwally S.M. Potential of *Plantago major* L. for phytoremediation of lead-contaminated soil and water. *Water, Air and Soil Pollution*. 2016. V. 227. № 1. P. 9.
8. Kabata-Pendias A. Trace element in soil and plants. Boca Raton, FL USA : CRC Press Taylor & Francis Group, 2011. 505 с.
9. Самохвалова В.Л., Фатєєв А.І., Філатов В.П. Методологія екологічного нормування мікроелементів та важких металів у ґрунтах. *Наук. Вісник Ужгород. Ун-ту*. 2012. Вип. 32. С. 5–11.
10. Sun Q., Wang, X.-R., Ding S.-M. et al. Effects of interaction between cadmium and plumbum on phytochelatin and glutathione production in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. of Integrative Plant Biology*. 2005. V. 47. № 4. P. 435–442.
11. Scandalios J.G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering anti-oxidant gene defenses. *Braz. J. Med. and Biol. Res*. 2005. V. 38. № 7. P. 995–1014.
12. Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*. 2002. V. 7. № 9. P. 405–410.
13. Samancioglu A., Sat I.G., Yildirim E. et al. Total phenolic and vitamin C content and antiradical activity evaluation of traditionally consumed wild edible vegetables from Turkey. *Indian J. of Traditional Knowledge*. 2016. V. 15. № 2. P. 208–213.
14. Chupakhina G.N., Maslennikov P.V., Skrypnik L.N. et al. The influence of the Baltic region conditions on the accumulation of water-soluble antioxidants in plants. *Russ. Chem. Bull*. 2014. V. 63. № 9. P. 1946–1953.
15. Isbilir S.S., Sagiroglu A. Total phenolic content, anti-radical and antioxidant activities of wild and cultivated *Rumex acetosella* L. extracts. *Biological Agriculture and Horticulture*. 2013. V. 29. № 4. P. 219–226.
16. Shah A., Singh T., Vijayvergia R. In vitro antioxidant properties and total phenolic and flavonoid contents of *Rumex vesicaius* L. *Internat. J. of Pharmacy and Pharmaceutical Sci*. 2015. V. 7. № 7. P. 81–84.
17. Alici E.H., Arabaci G. Determination of SOD, POD, PPO and cat enzyme activities in *Rumex obtusifolius* L. *Annual Research & Review in Biology*. 2016. V. 11. № 3. P. 1–7.
18. Maslennikov P.V., Chupakhina G.N., Skrypnik L.N. The content of phenolic compounds in medicinal plants of a botanical garden. *Biol. Bull. Russ. Acad. Sci*. 2014. V. 41. № 2. P. 133–138.
19. Kamath S.D., Arunkumar D., Avinash N.G. et al. Determination of total phenolic content and total antioxidant activity in locally consumed food stuffs in Moodbidri, Karnataka, India. *Adv. Appl. Sci. Res*. 2015. V. 6. № 6. P. 99–102.
20. Костюк В.А., Потапович А.И. Биорадикалы и биоантиоксиданты. Минск : БГУ, 2004. 179 с.
21. Бортнік Л.М. Вплив антропогенного навантаження на вміст ВМ у системі ґрунт – рослина. *Вісник аграрної науки*. 1999. № 10. С. 78.
22. Цандекова О.Л., Неверова О.А., Колмогорова Е.Ю. Роль антиоксидантної системи в устойчивости сосновых насаждений в условиях породного угольного отвала. *Изв. Самарского научного центра РАН*. 2013. Т. 15. № 3. С. 559–562.
23. Anahita A., Asmah R., Fauziah O. Evaluation of total phenolic content, total antioxidant activity, and antioxidant vitamin composition of pomegranate seed and juice. *International Food Research J*. 2015. V. 22. № 3. P. 1212–1217.
24. Aziz A., Jack R. Total phenolic content and antioxidant activity in *Nyssa fruticans* extracts. *J. of Sustainability Sci. and Management*. 2015. V. 10. № 1. P. 87–91.
25. Kowalczyk A., Ruzkiewicz M., Biskup I. Total phenolic content and antioxidant capacity of polish apple ciders. *Indian J. Pharm Sci*. 2015. V. 77. № 5. P. 637–640.
26. Goncharuk E.A., Zagoskina N.V. Heavy metals: uptake, toxicity and protective mechanisms in plants (for example of cadmium). *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology*. 2017. V. 1(40). P. 35–40.
27. Хайруллина В.Р., Герчиков А.Я., Денисова С.Б. Сравнительное изучение антиокислительных свойств некоторых флавонолов и флаванолов. *Кинетика и катализ*. 2010. Т. 51. № 2. С. 234–239.
28. Методика выполнения измерения массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв рентгенофлуоресцентным методом. М049-П/10. СПб. : ООО НПО «Спектрон», 2010. 17 с.
29. Gupta Ch., Verma R. Visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content and antioxidant activity of three common vegetable. *IJPSR*. 2011. V. 2. № 1. P. 175–182.
30. Євлаш В.В. Адаптація методу кулонометричного титрування щодо визначення антиоксидантної активності рослинної сировини та дієтичних добавок. *Східно-Європ. журн. передових технологій*. 2011. № 5/3. С. 56–59.
31. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001. V. 4, Iss. 1. P. 9. URL: [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm) (дата звернення 08.11.2021).
32. Сплодитель А.О., Кураева І.В., Злобіна К.С. Особливості акумуляції важких металів у ґрунтах урбанізованих ландшафтів м. Бровари. *Геологічний журнал*. 2020. № 2. С. 39–51. doi:10.30836/igs.1025-6814.2020.2.200245

#### REFERENCES:

1. Tsykalo, A.L., Kosmachova, A.M., Smyrnov, V.M. (2015). Eksperymentalne doslidzhennia nakopychennia vazhkykh metaliv roslynamy ta perspektyvu vykorystannia roslyn dlia poperedzhennia zabrudnennia dovkillia urbanizovanykh terytorii [Experimental study of the accumulation of heavy metals by plants and prospects for the use of plants to prevent environmental pollution in urban areas]. *Kholodylna tekhnika i tekhnolohii*, 51, 96–101 [in Ukrainian].
2. Khan S., Cao Q., Hesham A.E.-L. (2007). Soil enzymatic activities and microbial community structure with different application rates of Cd and Pb. *J. of Environmental Sciences*, 19/7, 834–840



3. Samchuk, A.I. (Ed.) (2019). *Vazhki metaly v ob'ekтах dovkillia Kyivskoho mehapolisu* [Heavy metals in the environment of the Kyiv metropolis]. Kyiv : Nash format [in Ukrainian].
4. Han, Y., Zhang, L., Yang, Y. (2016). Pb uptake and toxicity to *Iris halophila* tested on Pb mine tailing materials. *Environmental Pollution*, 214, 510–516
5. Chemerys, I.A., Zahoruiko, N.V., Koniakin, S.M. (2013). Fitomonitoring vykydiv avtotransportu v umovakh miskoho seredovyscha. Liudyna ta dovkillia [Phytomonitoring of vehicle emissions in urban environments. Man and the environment]. *Problemy neoeekolohii*, 3–4, 141–146 [in Ukrainian].
6. Chemerys, I. A., Zahoruiko, N. V., Koniakin, S. M. (2013). Fitomonitoring vykydiv avtotransportu v umovakh miskoho seredovyscha. Liudyna ta dovkillia [Environmental pollution by toxic metals and their indication using plant test systems]. *Problemy neoeekolohii*, 3–4, 141–146 [in Ukrainian].
7. Romeh, A.A., Khamis, M.A., Metwally, S.M. (2016). Potential of *Plantago major* L. for phytoremediation of lead-contaminated soil and water. *Water, Air and Soil Pollution*, 227/1, 9
8. Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace element in soil and plants*. Boca Raton, FL USA: CRC Press Taylor & Francis Group
9. Samokhvalova, V.L., Fatiev, A.I., Filatov, V.P. (2012). Metodolohiia ekolohichnoho normuvannia mikroelementiv ta vazhkykh metaliv u gruntakh [Methodology of ecological standardization of microelements and heavy metals in soils]. *Nauk. Visnyk Uzhhorod. Un-tu*, 32, 5–11 [in Ukrainian].
10. Sun, Q., Wang, X.-R., Ding, S.-M. (2005). Effects of interaction between cadmium and plumbum on phytochelatins and glutathione production in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. of Integrative Plant Biology*, 47/4, 435–442.
11. Scandalios, J.G. (2005). Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. *Braz. J. Med. and Biol. Res.*, 38/7, 995–1014.
12. Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7/9, 405–410
13. Samancioglu, A., Sat, I.G., Yildirim, E. (2016). Total phenolic and vitamin C content and antiradical activity evaluation of traditionally consumed wild edible vegetables from Turkey. *Indian J. of Traditional Knowledge*, 15/2, 208–213.
14. Chupakhina, G.N., Maslennikov, P.V., Skrypnik, L.N. (2014). The influence of the Baltic region conditions on the accumulation of water-soluble antioxidants in plants. *Russ. Chem. Bull.*, 63/9, 1946–1953.
15. Isbilir, S.S., Sagiroglu, A. (2013). Total phenolic content, anti-radical and antioxidant activities of wild and cultivated *Rumex acetosella* L. extracts. *Biological Agriculture and Horticulture*, 29/4, 219–226.
16. Shah, A., Singh, T., Vijayvergia, R. (2015). In vitro antioxidant properties and total phenolic and flavonoid contents of *Rumex vesicarius* L. *Internat. J. of Pharmacy and Pharmaceutical Sci.*, 7/7, 81–8.
17. Alici, E.H., Arabaci, G. (2016). Determination of SOD, POD, PPO and cat enzyme activities in *Rumex obtusifolius* L. *Annual Research & Review in Biology*, 11/3, 1–7.
18. Maslennikov, P.V., Chupakhina, G.N., Skrypnik, L.N. (2014). The content of phenolic compounds in medicinal plants of a botanical garden. *Biol. Bull. Russ. Acad. Sci.*, 41/2, 133–138.
19. Kamath, S.D., Arunkumar, D., Avinash, N.G. (2015). Determination of total phenolic content and total antioxidant activity in locally consumed food stuffs in Moodbidri, Karnataka, India. *Adv. Appl. Sci. Res.*, 6/6, 99–102.
20. Kostjuk, V.A., Potapovich, A.I. (2004). Bioradikaly i bioantioksidanty [Bioradicals and bioantioxidants]. Minsk : BGU [in Russian].
21. Bortnik, L.M. (1999). Vplyv antropohennoho navantazhennia na vmist VM u systemi grunt-roslyna [Influence of anthropogenic load on the content of heavy metals in the soil-plant system]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 10, 78 [in Ukrainian].
22. Candekova, O.L., Neverova, O.A., Kolmogorova, E.Ju. (2013). Rol' antioksidantnoj systemy v ustojchivosti sosnovykh nasazhdenij v uslovijah porodnogo ugol'nogo otvala [The role of the antioxidant system in the stability of pine plantations in the conditions of a coal waste dump]. *Izv. Samarskogo nauchnogo centra RAN*, 15/3, 559–562 [in Russian].
23. Anahita, A., Asmah, R., Fauziah, O. (2015). Evaluation of total phenolic content, total antioxidant activity, and antioxidant vitamin composition of pomegranate seed and juice. *International Food Research J.*, 22/3, 1212–1217
24. Aziz, A., Jack, R. (2015). Total phenolic content and antioxidant activity in *Nyssa fruticans* extracts. *J. of Sustainability Sci. and Management*, 10/1, 87–91.
25. Kowalczyk, A., Ruszkiewicz, M., Biskup, I. (2015). Total phenolic content and antioxidant capacity of polish apple ciders. *Indian J. Pharm Sci.*, 77/5, 637–640.
26. Goncharuk, E.A., Zagorskina, N.V. (2017). Heavy metals: uptake, toxicity and protective mechanisms in plants (for example of cadmium). *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology*, 1 (40), 35–40.
27. Hayrullina, V.R., Gerchikov, A.Ya., Denisova, S.B. (2010). Sravnitelnoe izuchenie antiokislitelnykh svoystv nekotorykh flavonolov i flavanonov. [Comparative study of the antioxidant properties of some flavonols and flavanones]. *Kinetika i kataliz*, 51(2), 234–239 [in Russian].
28. Metodika vypolnenija izmerenija massovoj doli metallov i oksidov metallov v poroshkovykh probah pochv rentgenofluorescentnym metodom [Procedure for measuring the mass fraction of metals and metal oxides in powder soil samples by the X-ray fluorescence method]. (2010). M049-P/10. SPb. : OOO NPO "Spektron" [in Russian].
29. Gupta, Ch., Verma, R. (2011). Visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content and antioxidant activity of three common vegetable. *IJPSR*, 2(1), 175–182.
30. Yevlash, V.V. (2011). Adaptatsiia metodu kulonometrychnoho tytruvannia shchodo vyznachennia antyoksydantnoi aktyvnosti roslynnoi syrovyny ta diietychnykh dobavok. [Adaptation of the coulometric titration method to determine the antioxidant activity of plant raw materials and dietary supplements]. *Skhidno-Yevrop. zhurn. peredovykh tekhnolohii*, 5/3, 56–59 [in Ukrainian].
31. Hammer, O., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. (2021, November 11). Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4/1, 9. Retrieved from [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
32. Splodytel, A.O., Kuraieva, I.V., Zlobina, K.S. (2020). Osoblyvosti akumulatsii vazhkykh metaliv u gruntakh

urbanizovanykh landshaftiv m. Brovary. [Features of accumulation of heavy metals in the soils of urban landscapes of Brovary]. *Heolohichniy zhurnal*, 2, 39–51 doi:10.30836/igs.1025-6814.2020.2.200245 [in Ukrainian].

**Мадані М.М. Оцінка антиоксидантного потенціалу рослин урбоекосистем в умовах антропогенного забруднення ґрунту**

**Мета.** Оцінити вплив свинцю в ґрунті на антиоксидантний статус деревних та трав'янистих рослин, який формується фенольними сполуками (на прикладі м. Одеси).

**Методи.** Комплексне використання польового, лабораторного, математично-статистичного, розрахунково-порівняльного методів і системного аналізу.

**Результати.** Виявлено, що за характером зміни активності поліфенолів та СВА в умовах техногенного стресу рослини можуть бути об'єднані у 4 кластери: першу групу утворює бузина чорна; до другої групи увійшли тополя чорна і бирючина звичайна; у третю групу за результатами кластерного аналізу потрапили смородина альпійська, бузок звичайний, калина звичайна, грястиця збірна, конюшина біла та конюшина лучна, кульбаба лікарська, сніжноягідник білий, деревій звичайний, пижма звичайна, липа серцеподібна; до складу четвертої групи увійшли береза повисла, клен гостролистий, обліпіха крушинова, барбарис звичайний, таволга Вангутта, троянда зморшкувата.

За результатами оцінки реакційної здатності низькомолекулярних водорозчинних антиоксидантів встановлено, що у досліджуваних рослинах такі види, як бузина чорна, бирючина звичайна та тополя чорна, мають найвищий адаптаційний потенціал в умовах антропогенного забруднення. Поліфеноли відіграють значну роль у формуванні стійкості цих видів до екологічного стресу. З трав'янистих рослин грястиця збірна за рахунок стимуляції накопичення поліфенолів має більш високу фізіологічну стійкість.

**Висновки.** Вивчено роль поліфенолів у формуванні антиоксидантного потенціалу міських рослин в умовах техногенного ґрунтового забруднення. Проведено кластерний аналіз закономірностей накопичення СВА та поліфенолів у рослинах урбоекосистем. За характером фізіологічної активності накопичення низькомолекулярних антиоксидантів було виділено 4 групи рослин. Отримані результати можуть бути використані для комплексної діагностики стійкості міських рослин до антропогенного впливу, а також для вдосконалення підходів та методів моніторингу промислового забруднення міських територій.

**Ключові слова:** техногенне забруднення, урбоекологія, свинець, фенольні сполуки, урбофітоценоз, фітоіндикація.

**Madani M. M. Estimation of antioxidant potential of plants of urban ecosystems in the conditions of anthropogenic soil pollution**

**Goal.** To evaluate the influence of lead in the soil on the antioxidant status of woody and herbaceous plants, which is formed by phenolic compounds (on the example of Odessa). **Methods.** Integrated use of field, laboratory, mathematical and statistical, computational and comparative methods and system analysis. **Results.** It was found that the nature of changes in the activity of polyphenols and CBA under man-made stress plants can be combined into 4 clusters: the first group is formed by elderberry; the second group included black poplar and privet; the third group according to the results of cluster analysis included alpine currant, lilac, viburnum, comfrey, white clover and clover, dandelion, snowberry, yarrow, tansy, linden; the fourth group included hanging birch, sharp-leaved maple, buckthorn, barberry, vangutta, wrinkled rose.

According to the results of the evaluation of the reactivity of low molecular weight water-soluble antioxidants, it was found that in the studied plants such species as black elder, privet and black poplar have the highest adaptive potential in conditions of anthropogenic pollution. Polyphenols play a significant role in shaping the resilience of these species to environmental stress. Of herbaceous plants, buckthorn prefabricated by stimulating the accumulation of polyphenols has a higher physiological stability.

**Conclusions.** The role of polyphenols in the formation of antioxidant potential of urban plants in conditions of man-made soil pollution has been studied. A cluster analysis of the patterns of accumulation of CBA and polyphenols in plants of urban ecosystems was performed. According to the nature of the physiological activity of the accumulation of low molecular weight antioxidants, 4 groups of plants were identified. The obtained results can be used for a comprehensive diagnosis of the resistance of urban plants to anthropogenic impact, as well as to improve approaches and methods for monitoring industrial pollution of urban areas.

**Key words:** technogenic pollution, urban ecology, lead, phenolic compounds, urban phytocenosis, phytoindication.