



<https://doi.org/10.15407/scin16.04.078>

**В.Б. НЕБЕСНИЙ¹, Г.А. ГРОДЗИНСЬКА¹,
А.І. САМЧУК², С.С. ДУГІН³, Г.Ю. ГОНЧАР¹**

¹Інститут еволюційної екології НАН України,
вул. академіка Лебедева, 37, Київ, 03143, Україна,
+380 44 526 2051, info@ieenas.org

²Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України,
просп. академіка Палладіна, 34, Київ, 03142, Україна,
+380 44 424 1270, office.igmr@gmail.com

³Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук Національної Академії Наук,
вул. О. Гончара, 55 б, Київ, 01054, Україна,
+380 44 290 2601, casre@casre.kiev.ua

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНИЙ ЕКСПРЕС-МЕТОД БІОІНДИКАЦІЇ ПАРКОВИХ ЕКОСИСТЕМ

Вступ. Паркові зони виконують природоохоронні та рекреаційні функції в урбосередовищі, що знаходиться під впливом інтенсивного техногенного навантаження.

Проблематика. Глобальне зниження якості повітря, збільшення кількості токсичних викидів та відходів потребує проведення постійного моніторингу стану довкілля, орієнтованого, в першу чергу, на біотичні показники.

Мета. Оцінка стану техногенного забруднення паркових екосистем м. Києва за спектральними характеристиками листків біоіндикаторного виду *Taraxacum officinale* та вмістом важких металів в них та в ґрунтах з місцезростань.

Матеріали й методи. Метод спектрофотометрії для дослідження спектральних характеристик листків *T. officinale*; метод мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою (ICP-MS) — для визначення вмісту *Cu*, *Pb*, *Zn*, *Mn*, *Ni*, *Cr* у листках та ґрунтах з локалітетів; статистичні методи.

Результати. Показано середній рівень кореляційних зв'язків (0,50–0,69) між вегетаційними індексами R_{550}/R_{485} , R_{550}/R_{620} , R_{450}/R_{735} , NDVI, RESV, SI та вмістом *Cu*, *Pb*, *Mn* у листках й *Pb* і *Mn* — у ґрунтах, та високий ступінь зв'язків (0,75–0,87) між індексами R_{450}/R_{735} , NDVI, RESV, LCI та вмістом *Zn* і *Cr* у листках та ґрунтах. Встановлено чітку тенденцію зростання вмісту важких металів в напрямку від центральних частин паркових зон, до периферійних, що зазнають інтенсивного впливу транспортного навантаження. Найбільш забрудненим визначено Маріїнський парк. Високі рівні вмісту важких металів *Cu*, *Pb* і *Cr* виявлені також в ґрунтах і листках рослин парку Київського політехнічного інституту. Найменший рівень забруднення має парк «Феофанія».

Висновки. Застосовані вегетаційні індекси рекомендовано як для експрес-оцінки стану природних і міських екосистем, так і для інтерпретації супутникових зображень з метою зонування та визначення

Цитування: Небесний В.Б., Гродзинська Г.А., Самчук А.І., Дугін С.С., Гончар Г.Ю. Спектрометричний експрес-метод біоіндикації паркових екосистем. *Nauka innov.* 2020. Т. 16, №4. С. 78–86. <https://doi.org/10.15407/scin16.04.078>

ступеню техногенного забруднення. Використання спектрофотометричного методу для біоіндикації є перспективним завдяки швидкості отримання результатів, широті охоплення територій та низькій собівартості.

Ключові слова: біоіндикація, важкі метали, паркові екосистеми, *Taraxacum officinale* F.H.Wigg., спектральні відбивні характеристики.

Паркові зони є невід'ємним елементом будь-якого урболандшафту. Загально визнаним фактом є те, що паркові або «зелені зони» виконують природоохоронні, рекреаційні, культурно-оздоровчі та санітарно-гігієнічні функції, є місцями відпочинку населення [1]. Водночас, глобальна тенденція до підвищення температури атмосферного повітря, зростання концентрації аеротехногенних викидів, антропогенне навантаження, зменшення просторових меж міських деревних насаджень викликають стресові явища та порушення фізіологічного стану рослин, сприяють ураженню шкідниками й хворобами [2, 3].

Крім того, на динаміку розвитку паркових зон впливає синантропізація флори, розширення міської забудови та транспортної інфраструк-

тури [4]. Міське середовище, трансформоване під впливом інтенсивного техногенного навантаження, в свою чергу, впливає на об'єкти біоти, які, як наслідок, зазнають фізіологічних, морфологічних, анатомічних, біохімічних та інших змін. Така властивість біологічних об'єктів дозволяє ефективно використовувати низку представників для біотестування та біоіндикації техногенних забруднень [1, 5].

Рослини є надійними та репрезентативними біоіндикаторами забруднення довкілля різними токсикантами, оскільки вони змушені адаптуватися до стресу за допомогою фізіолого-біохімічних і анатомо-морфологічних перебудов організму. На сьогодні актуальним є питання розробки експрес-методів діагностики стану урбанізованого навколишнього середо-

Таблиця 1. Місця відбору проб у локалітетах паркових зон Києва

Локалітет	Місце відбору проб	Широта	Довгота	Висота над рівнем моря, м
<i>ППСПМ «Феофанія»</i>				
I	Автобусна зупинка, 300 м від входу до парку	50°20'24"	30°28'39"	186
II	50 м нижче від входу до парку	50°20'24"	30°29'00"	176
III	30 м нижче адмін. будівлі по вул. Лебедева, 37	50°20'24"	30°29'14"	152
IV	100 м від озера № 3	50°20'21"	30°29'25"	139
<i>Парк «КПІ»</i>				
I	Біля автомагістралі, проспект Перемоги	50°27'05"	30°27'47"	153
II	60 м від проспекту, посередині схилу парку	50°27'03"	30°27'42"	160
III	На схилі, 20 м від верхньої дороги	50°27'02"	30°27'37"	164
IV	Біля правого крила корпусу № 1	50°27'02"	30°27'34"	165
<i>ППСПМ «Маріїнський парк»</i>				
I	Біля зупинки (навпроти Будинку офіцерів)	50°26'45"	30°32'21"	200
II	50 м від зупинки	50°26'47"	30°32'21"	201
III	25 м від адмін. будівлі Міністерства охорони здоров'я (МОЗ) України	50°26'49"	30°32'24"	201
IV	Зворотна сторона адмін. будівлі МОЗ України (початок схилу)	50°26'53"	30°32'25"	193

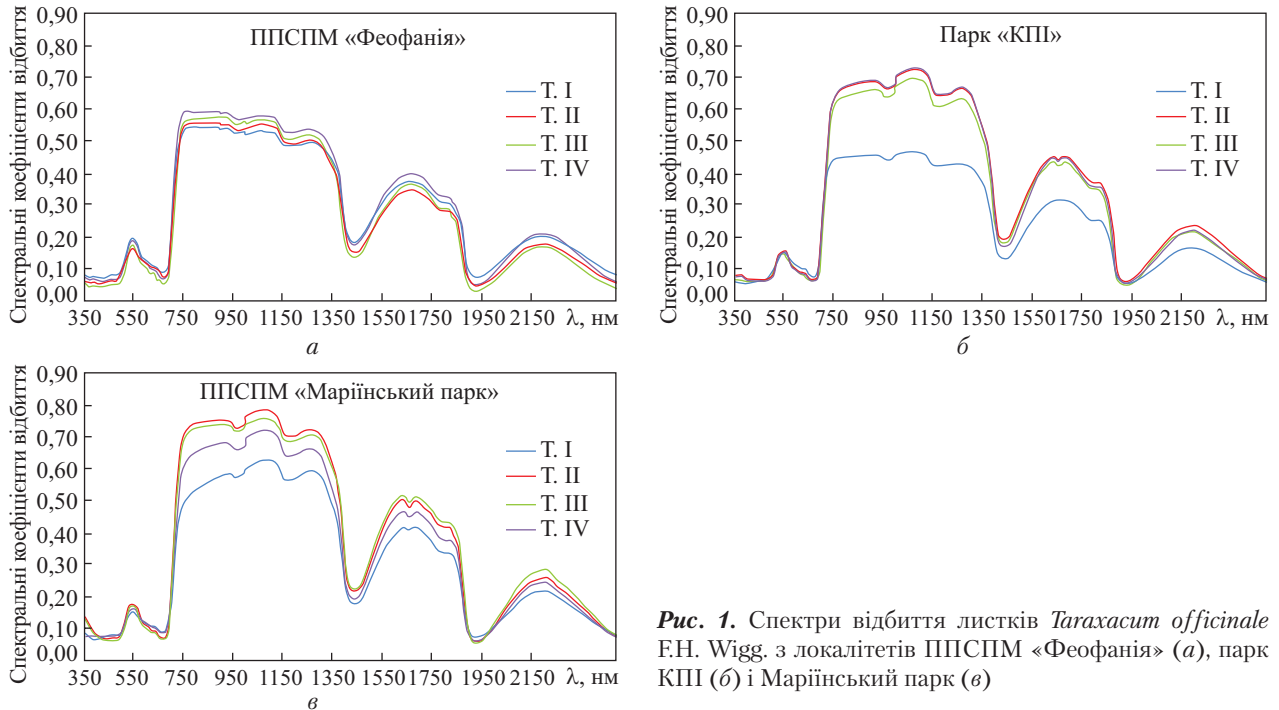


Рис. 1. Спектри відбиття листків *Taraxacum officinale* F.H. Wigg. з локалітетів ППСПМ «Феофанія» (а), парк КПІ (б) і Маріїнський парк (в)

вища з використанням окремих видів рослин і рослинних угруповань як біоіндикаторів.

Наслідком забруднення атмосферного повітря і ґрунту є зміни пігментного складу рослин, що, в свою чергу, проявляється в змінах спектральних відбивальних характеристик листків. Низкою досліджень доведено існування залежності між зміною оптичних параметрів та фізіологічним станом рослин. Зокрема, встановлено, що спектральні коефіцієнти відбиття зелених листків корелюють із рівнем їхньої фотосинтетичної активності. Оскільки процес фотосинтезу дуже чутливо реагує на вплив факторів зовнішнього середовища, то за зміною його інтенсивності можна визначати реакцію рослин на стресори, зокрема й на забруднення повітря [6–11]. Комплексний аналіз змін цих параметрів може слугувати основою для розроблення дистанційних методів діагностики стану урбоєкосистем [9, 12–15].

Біоіндикаторний вид кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* F. H. Wigg.) було використано для оцінки ступеню техногенного впливу на екологічний стан паркових зон Києва. Ви-

бір цього виду обумовлено його широким розповсюдженням, доступністю та високою чутливістю до низки чинників техногенного забруднення [16–20].

Мета досліджень полягала в оцінюванні стану техногенного забруднення паркових екосистем Києва на основі комплексного аналізу параметрів спектральних відбивальних характеристик та вмісту важких металів Cu, Pb, Zn, Mn, Ni, Cr в листках *Taraxacum officinale* та в ґрунтах з обраних паркових локалітетів.

Дослідження було проведено в червні 2018 р. на території трьох парків Києва: парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва (ППСПМ) «Феофанія», парку Київського політехнічного інституту (парк КПІ), ППСМ «Маріїнський парк», що знаходяться на різній висоті над рівнем моря і мають різний кут нахилу схилів. В кожному парку обрано по чотири локалітети (I, II, III і IV), розташовані на різній відстані від автомобільних доріг у напрямку до центральної частини паркової зони, де забруднення вважалося мінімальним (табл. 1).

У кожному локалітеті було відібрано по 5 зразків ґрунту з кореневмісного шару (0–5 см) і по 30 зразків листків *T. officinale*. Вимірювання спектральних відбивальних характеристик листків виконано польовим портативним спектрорадіометром *ASD FieldSpec® 3FR* (США) з робочим спектральним діапазоном від 350 до

2500 нм. Дані 10-кратних вимірювань кожного листка автоматично програмно усереднювали, а результат використовували для обчислення спектральних коефіцієнтів відбиття — СКВ (або *R*).

Серед різноманіття вегетаційних спектральних індексів, на основі аналізу літературних дже-

Таблиця 2. Спектральні вегетаційні індекси дослідження

Спектральний вегетаційний індекс*	Назва індексу та його фізіологічне значення
$R_{550}/R_{620} \cdot R_{500}/R_{620}$; $R_{550}/R_{485} \cdot R_{450}/R_{735}$; $R_{435}/R_{500} \cdot R_{435}/R_{620}$	Індекси важких металів — характеризують вміст останніх у рослині
$NDVI = (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670})$	Нормалізований вегетаційний індекс — кількісний показник фотосинтетичної активності фітомаси, який мінімізує вплив умов освітлення, ґрунтового фону, орієнтації листків, метеорологічних факторів
$VI = R_{800}/R_{670}$	Звичайний вегетаційний індекс — характеризує стан та щільність рослинного покриву, нівелює різні ефекти альbedo
$SI = R_{550}/R_{800}$	Індекс стресу (зворотній вегетаційний індекс) — показує ступінь пригнічення рослин (низькі значення <i>SI</i> відповідають більш продуктивному фотосинтезу і, відповідно, кращому стану екосистеми)
$RESV = ((R_{718} + R_{748})/2) - R_{733}$	Індекс стресу червоного краю — характеризує ступінь фізіологічних змін рослини залежно від впливу стресових факторів
$HM = (R_{630}/R_{690}) / (R_{520}/R_{600})$	Індекс накопичення важких металів — характеризує загальне накопичення важких металів (в першу чергу, заліза) у листках рослин
$CI = (R_{750}/R_{710}) - 1$; $LCI = R_{695}/R_{760}$	Хлорофільний індекс та листковий хлорофільний індекс — вказують на кількісний вміст хлорофілу у листках
$PI = R_{430}/R_{680}$	Пігментний індекс — характеризує стан пігментного комплексу листків (в першу чергу, каротиноїдів та антоціанів, яких у пригніченій рослинності значна кількість)

Примітка. * — цифра — це значення СКВ на певній довжині хвилі у нанометрах.

Таблиця 3. Характеристика екоотів парків Києва за вмістом важких металів у листках рослин *T. officinale* (*L*) та в ґрунті (*S*)

Показник з локалітету	Вміст важких металів, мг/кг сухої маси					
	Cu	Pb	Zn	Ni	Mn	Cr
<i>ППСПМ «Феофанія»</i>						
<i>L</i> _I	15	8	150	10	400	7
<i>S</i> _I	50	50	500	40	600	50
<i>L</i> _{II}	10	7	80	4	200	5
<i>S</i> _{II}	40	40	200	20	300	40
<i>L</i> _{III}	10	4	80	4	250	4
<i>S</i> _{III}	40	30	300	20	350	30
<i>L</i> _{IV}	6	3	80	3	250	4
<i>S</i> _{IV}	20	20	300	20	300	20
<i>Парк «КПШ»</i>						
<i>L</i> _I	80	10	800	8	300	8
<i>S</i> _I	300	100	3000	30	500	80
<i>L</i> _{II}	50	5	100	5	180	3
<i>S</i> _{II}	100	60	300	20	350	10
<i>L</i> _{III}	30	4	100	3	150	5
<i>S</i> _{III}	60	40	300	10	300	30
<i>L</i> _{IV}	30	7	200	4	170	6
<i>S</i> _{IV}	50	80	500	20	350	40
<i>ППСПМ «Маріїнський парк»</i>						
<i>L</i> _I	60	40	250	20	200	8
<i>S</i> _I	500	300	1000	100	400	40
<i>L</i> _{II}	30	5	130	10	300	3
<i>S</i> _{II}	200	60	450	30	350	10
<i>L</i> _{III}	30	4	90	10	250	5
<i>S</i> _{III}	80	50	300	30	350	30
<i>L</i> _{IV}	20	2	100	2	200	4
<i>S</i> _{IV}	40	20	500	10	300	20

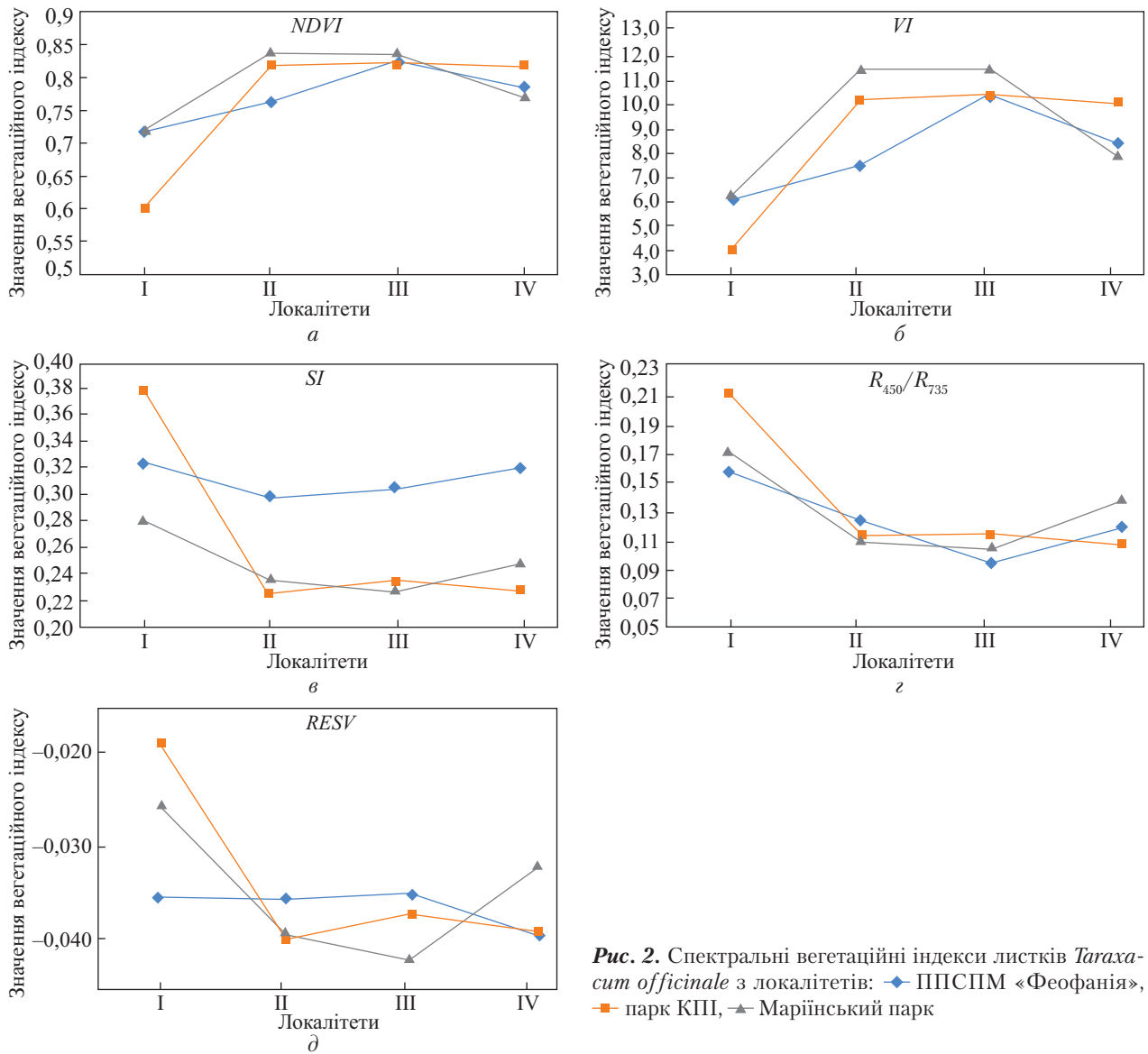


Рис. 2. Спектральні вегетаційні індекси листків *Taraxacum officinale* з локалітетів: ◆ ШПСІМ «Феофанія», ■ парк КПІ, ▲ Маріїнський парк

рел і власних попередніх досліджень [13–15, 21–25], було відібрано 14 як найбільш інформативних (табл. 2).

Вимірювання вмісту важких металів Сс, Рb, Zn, Mn, Ni, Сг в зразках ґрунтів і листків досліджуваного виду виконано методом мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою на аналізаторі ICP-MS Element-2 (Німеччина) за методом О.М. Пономаренко зі співавторами [26].

Для відібраних з 12 локалітетів листків було отримано та проаналізовано біля 1800 спект-

рів відбиття листків. Графіки спектрів відбивання листків *T. officinale* чітко демонструють наявність контрастів в окремих спектральних діапазонах між зразками, зібраними з різних місцезростань (рис. 1).

Найбільш інформативними, як і очікувалося, виявилися лінії поглинання та відбивання сонячної енергії основними пігментними комплексами рослин – хлорофілом та каротиноїдами у видимій зоні спектру та максимуму її відбиття у ближній інфрачервоній зоні, яка по-

в'язана з клітинною структурою листка. За показниками СКВ, вимірними у зазначених ділянках спектру, було розраховано спектральні вегетаційні індекси.

Аналіз графіків спектральних індексів листків *T. officinale* з локалітетів досліджуваних парків (рис. 2) показав, що найбільш інформативними з них є: *NDVI*, *VI*, *SI*, *RESV* та R_{450}/R_{735} . Так, значення індексів *NDVI* та *VI* локалітетів, що розташовані поблизу автомагістралей, виявилися набагато нижчими від індексів з локалітетів центральних частин паркових зон. Протилежна залежність спостерігається у випадку індексів *SI*, *RESV* та R_{450}/R_{735} . Слід відмітити зміну значень (зменшення *NDVI* і *VI*, та підвищення *SI*, *RESV* і R_{450}/R_{735}) у IV локалітеті всіх парків, що пов'язано з розташуванням внутрішньої дороги у парках КПІ та Маріїнському і активною рекреаційною зоною у парку Феофанія.

Значення спектральних індексів листків *T. officinale* з ППСМ «Феофанія» суттєво відрізняються від індексів інших парків, що підтвер-

джує найменше антропогенне навантаження на його екосистему.

Дослідження листків *T. officinale* і проб ґрунтів з паркових локалітетів показало, що найвищий рівень важких металів було виявлено в локалітетах I, розташованих поблизу автомобільних доріг і зупинок громадського транспорту (табл. 2). Найбільш забрудненим виявився Маріїнський парк, розташований на плато в центральній (піднесеній) частині міста. Тут визначено високий вміст Cu, Pb, Zn в ґрунтах і Pb, Zn, Ni в листках. Високі рівні вмісту важких металів Cu, Pb і Cr виявлено також в ґрунтах і листках з парку КПІ. При цьому підвищений вміст важких металів в зразках з ділянки IV, напевно, пов'язаний з її розташуванням біля навчального корпусу та безпосередній близькості від верхньої паркової дороги. Найменш забрудненим є парк «Феофанія», розташований поблизу межі міста і на деякій відстані від автомагістралі.

Дослідження активності цезію-137 та мінерального складу дикорослих макроміцетів з

Таблиця 4. Кореляційні зв'язки між вегетаційними спектральними індексами та вмістом важких металів в листках *T. officinale* (L) і ґрунтах (S) з паркових екотопів м. Києва

Спектральний індекс	Вміст металів у пробах											
	Cu		Pb		Zn		Ni		Mn		Cr	
	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S	L	S
R_{550}/R_{485}	-0,646	-0,575	-0,516	-0,534	-0,573	-0,586	-0,455	-0,460	-0,115	-0,501	-0,673	-0,514
R_{550}/R_{620}	-0,566	-0,571	-0,553	-0,527	-0,649	-0,674	-0,381	-0,461	-0,142	-0,502	-0,735	-0,671
R_{500}/R_{620}	0,322	0,199	0,114	0,178	0,034	0,033	0,305	0,176	0,096	0,263	0,133	-0,114
R_{450}/R_{735}	0,668	0,643	0,504	0,504	0,833	0,861	0,456	0,477	0,377	0,657	0,786	0,769
R_{435}/R_{500}	0,612	0,402	0,196	0,342	0,255	0,242	0,312	0,194	-0,241	-0,050	0,095	-0,101
R_{435}/R_{620}	0,533	0,345	0,174	0,297	0,172	0,164	0,331	0,199	-0,125	0,068	0,108	-0,123
<i>NDVI</i>	-0,567	-0,514	-0,339	-0,381	-0,844	-0,864	-0,318	-0,364	-0,406	-0,654	-0,772	-0,843
<i>SI</i>	0,140	0,201	0,147	0,074	0,611	0,633	0,089	0,165	0,561	0,550	0,527	0,716
<i>VI</i>	-0,402	-0,447	-0,453	-0,393	-0,672	-0,699	-0,293	-0,402	-0,351	-0,600	-0,751	-0,758
<i>RESV</i>	0,669	0,689	0,543	0,543	0,826	0,866	0,376	0,447	0,157	0,438	0,707	0,732
<i>HM</i>	0,107	0,381	0,534	0,423	0,302	0,334	0,273	0,453	0,159	0,340	0,520	0,517
<i>CI</i>	-0,153	-0,284	-0,266	-0,185	-0,594	-0,623	-0,113	-0,234	-0,395	-0,419	-0,552	-0,711
<i>LCI</i>	0,465	0,462	0,351	0,316	0,811	0,835	0,250	0,314	0,411	0,576	0,704	0,829
<i>PI</i>	-0,041	-0,038	-0,147	-0,061	-0,442	-0,438	0,071	-0,068	-0,235	-0,410	-0,527	-0,713

Примітка. Сірим кольором виділено коефіцієнти кореляції більше 0,50.

території парку «Феофанія» у 2015–2017 рр. показали безпечний рівень вмісту важких металів у їхніх плодкових тілах [27], що підтверджує відносну екологічну чистоту цієї території. Слід зазначити, що в окремих випадках високий рівень вмісту металів в зразках ґрунту не збігався з їхнім рівнем у біомасі листків. Це явище пов'язане, вочевидь, з наявністю рухомих форм важких металів в системі «ґрунт–рослина».

Аналіз спектрів відбиття листків *T. officinale* з трьох паркових екотопів м. Києва та вміст важких металів у листках і ґрунтах з місцезростань показав середній рівень кореляційних зв'язків (0,50–0,69) між рядом спектральних індексів: R_{550}/R_{620} ; R_{550}/R_{485} ; R_{450}/R_{735} ; *NDVI*; *RESV*, *SI* і вмістом Cu, Pb, Mn у листках та Pb і Mn у ґрунтах з кореневмісного шару, та високий ступінь зв'язків (0,75–0,87) між спектральними індексами R_{450}/R_{735} ; *NDVI*; *RESV*; *LCI* та вмістом Zn і Cr у листках та ґрунтах (табл. 4).

Сучасні підходи до екологічної оцінки стану навколишнього середовища повинні бути орієнтовані, в першу чергу, на біотичні показники. При цьому застосування методів дистанційного зондування для оцінки стану природних і міських екосистем є досить перспективним через високу швидкість отримання результатів, широту охоплення територій і низьку собівартість. Враховуючи те, що запропонований в роботі експрес-метод об'єктивно відображає фізіологічний стан рослин у режимі реального часу, його можна рекомендувати для впрова-

дження у мережу постів спостереження за забрудненням навколишнього природного середовища в Києві Центральної геофізичної обсерваторії ім. Б. Срезневського, яка належить до Державної системи моніторингу довкілля.

Таким чином, встановлено кореляційні зв'язки між оптичними показниками листків *T. officinale* та накопиченням в них важких металів. Аналіз вегетаційних спектральних індексів та вмісту важких металів у ґрунтах і листках рослин-індикаторів показав наявність чіткої зміни цих характеристик в напрямку від центральних, менш забруднених паркових зон, до периферійних, що зазнають інтенсивного впливу транспортного навантаження.

Найбільш забрудненою визначено територію Маріїнського парку. Високі рівні вмісту важких металів Cu, Pb і Cr виявлено також в ґрунтах і листках рослин з парку КПІ. Найменш забрудненим є парк «Феофанія» завдяки своєму віддаленості від джерел забруднення розташуванню.

Обрані в дослідженні спектральні індекси можуть бути рекомендовані як для експрес-оцінки стану паркових екосистем, залежно від рівня антропогенного забруднення, так і для інтерпретації супутникових зображень з метою зонування та визначення ступеню цього забруднення.

Застосований метод є перспективним та рекомендованим до широкого застосування в системі моніторингу довкілля через низьку перевагу у використанні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Біоіндикація стану техногенного забруднення м. Києва*: методичні підходи: монографія / за ред. О.П. Дмитрієва. Київ: Наш формат, 2016. 122 с.
2. Дідух Я.П. *Основи біоіндикації*. Київ: Наукова думка, 2012. 344 с.
3. Iqbal M.Z., Shafiq M., Qamar Zaidi S., Athar M. Effect of automobile pollution on chlorophyll content of roadside urban trees. *Global J. Environ. Sci. Manage.* 2015. V. 1, no. 4. P. 283–296. doi: 10.7508/gjesm.2015.04.003
4. Бурда Р.И., Голивец М.А., Петрович О.З. Чужеродные виды во флоре природно-заповедного фонда равнинной части Украины. *Рос. журн. биол. инвазий*. 2014. № 4. С. 1–29.
5. Самчук А.І., Кураєва І.В., Гродзинська Г.А., Вовк К.В., Войтюк Ю.Ю., Злобіна К.С., Стадник В.О., Огар Т.В., Небесний В.Б., Гончар Г.Ю. *Важкі метали в об'єктах довкілля Київського мегаполісу*: монографія / ред. А.І. Самчук, І.В. Кураєва. Київ: Наш формат, 2019. 164 с.
6. Кондратьев К.Я., Федченко П.П. *Спектральная отражательная способность и распознавание растительности*. Ленинград: Гидрометеоздат, 1982. 216 с.

7. Nebesnyy V.B., Dubyna D.V., Prokopenko V.F., Shelyag-Sosonko Y.R. Distribution of heavy metals accumulated in *Phragmites australis* in delta zones of the northern Black Sea coast. *Hydrobiological Journal*. 1993. V. 29. P. 9–21.
8. Леванчук А.В., Копытенкова О.И., Нехорошев А.С., Гайко И.И. Метод контроля качества среды обитания в мегаполисе. *Успехи современного естествознания*. 2005. № 9. С. 59–61.
9. Андреева А.В., Бузников А.А., Скрябин С.В., Тимофеев А.А., Алексеева-Попова Н.В., Беляева А.И. Исследование характера изменения оптических характеристик растительности под воздействием тяжелых металлов для разработки метода дистанционной диагностики загрязнения. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса*. 2007. Т. 4, № 2. С. 175–182.
10. Khavaninzadeh A.R., Veroustraete F., Buytaert J.A.N., Dirckx J., Samson R. Assessing urban habitat quality using spectral characteristics of *Tilia* leaves. *Environ. Pollut.* 2013. V. 178. P. 7–14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.021>.
11. Khavaninzadeh A.R., Veroustraete F., Buytaert J.A.N., Samson R. Leaf injury symptoms of *Tilia sp.* as an indicator of urban habitat quality. *Ecological indicators*. 2014. No. 41. P. 58–64.
12. Сури́н В.Г. Активные оптические тестеры для информационного обеспечения точного земледелия, точного животноводства и экологической безопасности. *Агрофизика*. 2011. № 2. С. 39–49.
13. Небесний В.Б., Гродзинська А.А. Оцінка техногенного забруднення м. Києва за спектральними відбивними характеристиками листків *Tilia cordata* (Tiliaceae). *Укр. Ботан. журн.* 2015. Т. 72, № 2. С. 116–121.
14. Небесний В.Б., Гродзинська А.А., Гончар Г.Ю. Використання спектрофотометричного методу для оцінки екологічного стану урбанізованих територій міста Києва. *Вісник НАН України*. 2016. № 8. С. 59–67.
15. Nebesnyi V.B., Grodzinskaya A.A., Gonchar A.Yu., Konyakin S.M., Schur K.Yu. The use of *Tilia cordata* Mill. as bioindicator for the evaluation of the ecological state of Kyiv urbanized areas (Ukraine). *Journal of Medicinal Plants Studies*. 2016. V. 4, no. 3. P. 277–282.
16. Никольский В.И. Одуванчик как возможный объект фенологического мониторинга природных экосистем. *Проблемы устойчивости биологических систем: тез. докл. всесоюз. школы*. Харьков, 1990. С. 99–101.
17. Стволинская Н.С. Жизнеспособность *Taraxacum officinale* Wigg. в популяциях города Москвы в связи с автотранспортным загрязнением. *Экология*. 2000. № 2. С. 147–150.
18. Пестова Л.В., Рязанцева О.В. Биоиндикация автотранспортного загрязнения городских территорий. *Ползуновский вестник*. 2004. № 2. С. 87–94.
19. Nebesnyi V., Grodzinskaya A., Dugin S. Using Remote Sensing Methods in Bioindication of Urban Ecosystems. *Abstract eBook: The 4th International Symposium on EuroAsian Biodiversity 2018 (03–06 July 2018, Kiev)*. Kiev, 2018. P. 421.
20. Nebesnyi V.B., Grodzinskaya A.A., Samchuk A.I. Bioindication of pollution by heavy metals of parking ecosystems of Kiev. Proceedings of the XI International biogeochemical school: *Biogeochemistry – the scientific basis for sustainable development and protection of human health (13–15 June 2019, Tula)*. Tula, Russia: TSPU, 2019. V. 2. P. 71–74.
21. Тимофеев А.А. Исследование и разработка метода и аппаратно-программного комплекса для дистанционной оценки загрязнения индикаторных видов растительности тяжелыми металлами: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.11.07. Санкт-Петербург, 2009. 18 с.
22. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы. *Геоматика*. 2009. № 3. С. 28–32.
23. Roberts D., Roth K., Perroy R. *Hyperspectral vegetation indices: Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation*. CRC Press, Boca Raton, FL, US, 2011. P. 309–328.
24. Якимчук В.Г., Ліщенко Л.П., Суханов К.Ю., Порущкевич А.Ю. Застосування спектральних індексів спектрограм листя дерев для оцінки екологічних умов їхнього росту в м. Києві. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2015. № 5. С. 4–14.
25. Index Data Base: A data base for remote sensing indices: List of available Indices. Germany. URL: <https://www.index-database.de/db/i.php> (дата звернення: 27.12.2019).
26. Пономаренко О.М., Самчук А.І., Красюк О.П., Макаренко Т.І., Антоненко О.Г. Аналітичні схеми пробопідготовки гірських порід та мінералів і визначення в них мікроелементів методом мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою (ISP-MS). *Мінералогічний журнал*. 2008. № 4. С. 97–103.
27. Grodzinskaya A.A., Nebesnyi V.B., Samchuk A.I., Honchar H.Yu. Radiocesium (¹³⁷Cs) and Mineral Elements in Culinary-Medicinal Mushrooms from the Southern Outskirts of Kyiv, Ukraine. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2019. V. 21, no. 1. P. 71–77. doi: 10.1615/IntJMedMushrooms.2018029583

Стаття надійшла до редакції / Received 10.01.20

Статтю прорецензовано / Revised 05.03.20

Статтю підписано до друку / Accepted 17.03.20

Nebesnyi, V.B.¹, Grodzynska, G.A.¹,
Samchuk, A.I.², Dugin, S.S.³, and Honchar, H.Yu.¹

¹Institute for Evolutionary Ecology, the NAS of Ukraine,
37, Acad. Lebedev St., Kyiv, 03143, Ukraine,
+380 44 526 2051, info@ieenas.org

²Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy, and Ore Formation, the NAS of Ukraine,
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, 03142, Ukraine,
+380 44 424 1270, office.igmr@gmail.com

³Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth,
Institute of Geological Science, NAS of Ukraine, Ukraine,
55 B, O. Honchara St., Kyiv, 01054, Ukraine,
+380 044 290-26-01, casre@casre.kiev.ua

SPECTROPHOTOMETRIC EXPRESS METHOD IN BIOINDICATION OF PARK ECOSYSTEMS

Introduction. Park areas perform conservational and recreational functions in an urban environment that is under the influence of intense manmade load.

Problem Statement. The global decline in air quality, the augmentation of toxic emissions and industrial wastes, require constant monitoring of the environment, which must be focused primarily on biotic parameters.

Purpose. Estimation of the manmade pollution of park ecosystems of Kyiv according to the spectral characteristics of leaves of the bioindicator species *Taraxacum officinale* F.H. Wigg., and the content of heavy metals in them and in the soils.

Materials and Methods. Spectrophotometry method for studying the spectral characteristics of *T. officinale* leaves; induction-coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) method for measuring the content of Cu, Pb, Zn, Mn, Ni, Cr in leaves and soils from localities; statistical methods.

Results. The average level of correlations (0.50–0.69) between vegetation indices R_{550}/R_{485} , R_{550}/R_{620} , R_{450}/R_{735} , $NDVI$, $RESV$, SI and Cu content is shown, Pb, Mn in leaves and Pb and Mn – in soils, and a high degree of correlation (0.75–0.87) between the indices R_{450}/R_{735} , $NDVI$, $RESV$, LCI and the content of Zn and Cr in leaves and soils. There is a clear trend of increasing the content of heavy metals in the direction from the central parts of the park areas to the peripheral ones, which are intensively affected by traffic.

The most polluted is the Mariinsky Park. High levels of heavy metals Cu, Pb and Cr were also found in the soils and leaves of the park of the Kyiv Polytechnic Institute. The lowest level of pollution is in the Feofaniya park.

Conclusions. The discussed vegetation indices are recommended both for rapid assessment of the state of natural and urban ecosystems, and for interpretation of satellite images for zoning and to determine the degree of man-made pollution. The use of the spectrophotometric method for bioindication is promising due to a high speed of obtaining results, a wide coverage, and a low cost.

Keywords: bioindication, heavy metals, park ecosystems, *Taraxacum officinale* F.H. Wigg., and spectral reflection.