

**НЕБЕСНИЙ****Віталій Борисович** –

молодший науковий співробітник  
відділу дендрології та  
паркознавства Інституту  
еволюційної екології НАН  
України

**ГРОДЗИНСЬКА****Ганна Андріївна** –

кандидат біологічних наук,  
старший науковий співробітник  
відділу мікології Інституту  
ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН  
України

**ГОНЧАР****Ганна Юрїївна** –

молодший науковий співробітник  
відділу екологічного моніторингу  
Інституту еволюційної екології  
НАН України

## ВИКОРИСТАННЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ МІСТА КИЄВА

*Для експрес-оцінки стану урбанізованих екосистем було застосовано спектрофотометричний метод дистанційного зондування, який ґрунтується на вимірюванні спектральних відбивних характеристик листків біоіндикаторного виду липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.). За результатами вимірювань розраховували індекс стресу (зворотний вегетаційний індекс), як найбільш інформативний показник, що характеризує ступінь пригнічення фотосинтезу і опосередковано визначає рівень антропогенного забруднення території. За індексом стресу із застосуванням кластерного аналізу виконано групування 36 локалітетів з 10 адміністративних районів м. Києва. Визначено чітку тенденцію зростання значень індексу стресу за градієнтом інтенсивності транспортних потоків. Метод рекомендовано для екологічного моніторингу якості довкілля і оперативної оцінки екологічних змін в урбоекосистемах.*

**Ключові слова:** спектрофотометричний метод, *Tilia cordata* Mill., біоіндикація, індекс стресу, урбоекосистеми.

Вирішення сучасних екологічних проблем, пов'язаних з глобальним зниженням якості атмосферного повітря, значним збільшенням рівня шкідливих викидів промислових об'єктів, зростанням транспортного навантаження, потребує проведення постійного моніторингу якості довкілля.

Рослини є надійними біоіндикаторами екологічного стану природних та міських екосистем. Високий ступінь впливу негативних факторів, притаманний урбанізованим територіям, призводить до ослаблення рослинних організмів, передчасного їх старіння, зниження продуктивності, ураження хворобами та шкідниками і, нарешті, до загибелі насаджень [1].

Урбанізовані території вирізняються своєю різноманітністю екологічних умов і комплексом техногенних впливів, що спричинюють суттєву трансформацію довкілля. Для оцінювання рівня забруд-

нення навколишнього природного середовища токсичними речовинами широко застосовують фітоіндикатори (рослини-біоіндикатори), оскільки вони змушені адаптуватися до стресу за допомогою фізіолого-біохімічних та анатомо-морфологічних перебудов організму. Фіксація й оцінка цих змін, які можна реєструвати вже на ранніх стадіях деградації, дають достовірну картину умов місця зростання рослин і відображають стан міського середовища [2–5].

Кількість екологічно чистих зон і парків як у межах міської смуги, так і на прилеглих територіях, невпинно зменшується, і вони набувають дедалі більшої цінності [6]. Найпоширенішими і найнебезпечнішими для екологічного стану ґрунтів і вод урбанізованих територій є забруднення їх важкими металами. Відомо, що насичення ґрунту солями важких металів нерідко призводить до загибелі рослинних угруповань [7]. Наслідком забруднення атмосферного повітря і ґрунту є зміни пігментного складу рослин, що, у свою чергу, проявляється в змінах оптичних властивостей [8]. При цьому відбуваються також зміни спектральних відбивних характеристик рослин, що дає змогу використовувати їх для біоіндикації рівнів техногенного забруднення. Комплексний аналіз змін цих параметрів може слугувати основою для розроблення дистанційних методів діагностики стану урбоєкосистем [8, 9]. Інші дослідники довели, що є залежність між зміною оптичних параметрів зелених рослин і їхнім фізіологічним станом. Зокрема, встановлено, що спектральні коефіцієнти відбиття зелених листків корелюють із рівнем їх фотосинтетичної активності [10, 11]. Оскільки процес фотосинтезу дуже чутливо реагує на вплив факторів зовнішнього середовища, за зміною його інтенсивності можна визначати реакцію рослин на стресори, зокрема на забруднення повітря [12, 13].

Метою нашого дослідження була оцінка стану техногенного забруднення м. Києва на основі аналізу зміни спектральних відбивних характеристик листків біоіндикаторного виду — липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.),

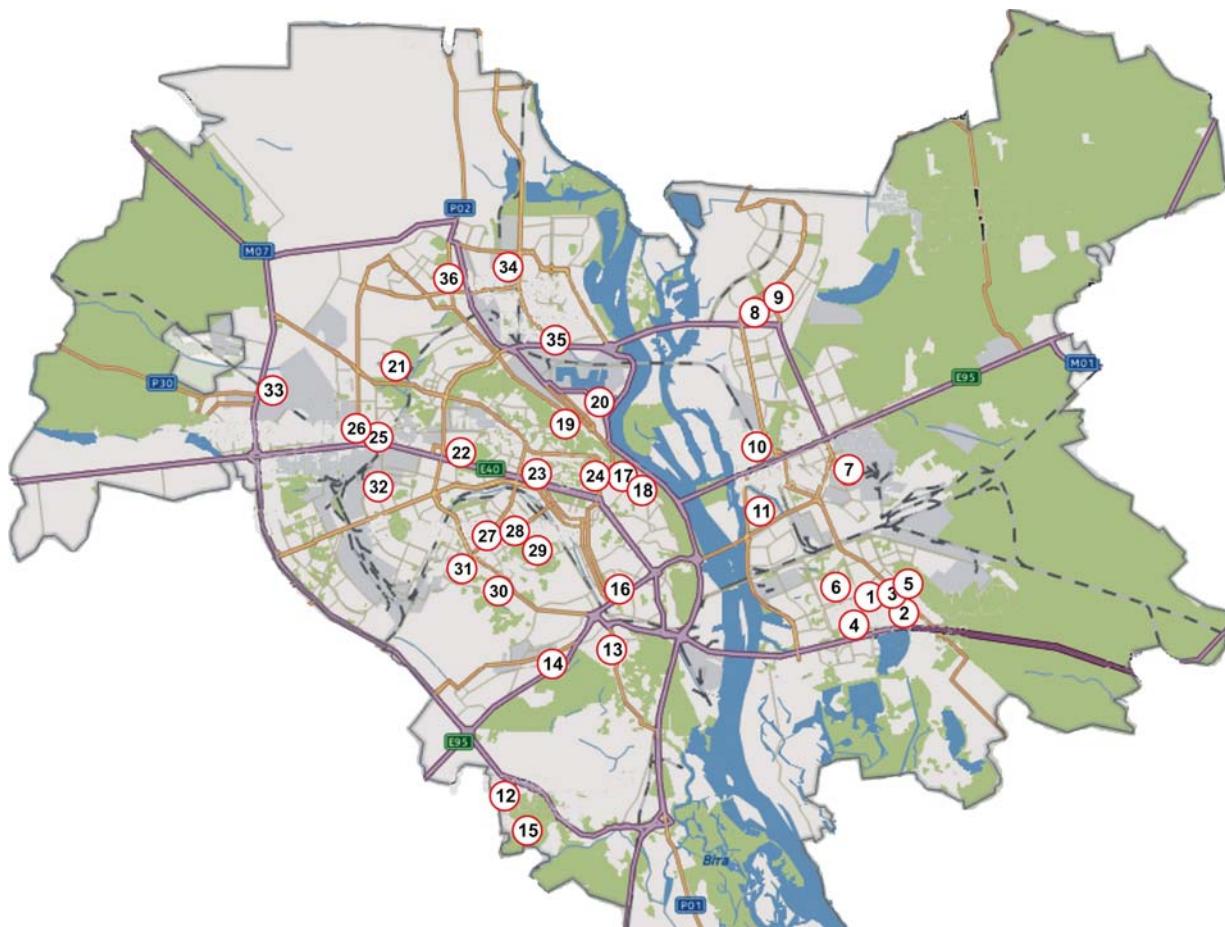
яку широко використовують для озеленення міських територій.

Для комплексної оцінки техногенного впливу ми застосували спектрофотометричний метод, що ґрунтується на вимірюванні біологічних реакцій рослин [11]. Спектральні відбивні характеристики понад 1200 листків липи серцелистої, зібраних у 2014–2015 рр. з 36 локалітетів 10 адміністративних районів м. Києва, вимірювали за допомогою польового фотометра ПФ-8 (рис. 1).

Методика оснований на здатності досліджуваних об'єктів вибірково відбивати променеву енергію в характерних для них ділянках спектра. Спектральні діапазони фотометра підбрано так, щоб вони відповідали основним фізіологічним процесам, що відбуваються в рослинах. Спектральні коефіцієнти відбиття листків *T. cordata* вимірювали в зеленій — R1 (551,9 нм), червоній — R2 (656,8 нм) та ближній інфрачервоній — R3 (802,0 нм) зонах спектра. Вимірюваний коефіцієнт відбиття в зазначених спектральних діапазонах коливався в межах від 0 до 1. Гранична відносна похибка вимірювань становила близько 2,3%. На основі виконаних вимірювань ми розрахували індекс стресу (зворотний вегетаційний індекс) за формулою  $IC = R1 / R3$ , який чисельно визначає стан рослини, ступінь пригнічення фотосинтезу і порушення водного балансу в тканинах листка [14].

Для проведення кластерного аналізу застосували метод Варда [15]. Спочатку в обох кластерах для всіх наявних вимірювань розраховують середні значення окремих змінних, потім обчислюють квадрати евклідових відстаней від окремих спостережень кожного кластера до розрахованого кластерного середнього значення. Ці дистанції підсумовують. Далі в один новий кластер об'єднують ті кластери, при поєднанні яких отримуємо найменший приріст загальної суми дистанцій.

В останні роки проведено ряд досліджень з використанням лишайників, окремих видів рослин, рослинних угруповань, грибів як біоіндикаторів рівня забруднення навколишнього середовища [16–22]. Зокрема, низку



**Рис. 1.** Схема відбору проб у локалітетах м. Києва (2014–2015 рр.). **Дарницький р-н:** 1 – вул. Архітектора Вербицького, 6 (висота над рівнем моря – 101 м); 2 – Харківське шосе, 180/21 (житлова зона) (102); 3 – Харківське шосе, 129 (вздовж автомагістралі) (102); 4 – просп. Бажана (оз. Лебедине) (96); 5 – вул. Борова, 10 (101); 6 – вул. Драгоманова, 17 (106). **Деснянський р-н:** 7 – вул. Магнітогорська, 1 (ВАТ «Хімволокно») (104); 8 – вул. Закревського, 5–7 (102); 9 – просп. Маяковського, 18 (99). **Дніпровський р-н:** 10 – вул. Луначарського, 2 (100); 11 – вул. Ентузіастів, 7 (100). **Голосіївський р-н:** 12 – вул. Метрологічна, 4–12 (190); 13 – просп. Науки, 32 (149); 14 – просп. Голосіївський, 88 (151); 15 – ППСМ «Феофанія» (153). **Печерський р-н:** 16 – бульвар Дружби Народів, 7 (143); 17 – вул. Грушевського, 6 (175); 18 – Маріїнський парк (199). **Подільський р-н:** 19 – вул. Верхній Вал, 4–6 (117); 20 – вул. Набережно-Хрещатицька, 35 і вул. Хорива, 50 (102); 21 – вул. Північно-Сирецька, 49 (170). **Шевченківський р-н:** 22 – парк ім. О.С. Пушкіна (173); 23 – просп. Перемоги, 4 (129); 24 – вул. Хрещатик (ріг вул. Прорізної) (158); 25 – парк «Нивки» (181); 26 – вул. Щербакова, 10 (182). **Солом'янський р-н:** 27 – парк ім. М. Островського (182); 28 – вул. Липківського, 38–40 (177); 29 – вул. Волгоградська, 6а (187); 30 – просп. Лобановського (Червонозоряний просп.), 51 (187); 31 – просп. Повітрофлотський, 52 (185); 32 – бульвар Лепсе, 8 (192). **Святошинський р-н:** 33 – просп. Академіка Палладіна, 32/34 (167). **Оболонський р-н:** 34 – вул. Героїв Дніпра, 166 (102); 35 – просп. Степана Бандери (Московський просп.) (97); 36 – вул. Вишгородська, 32/2 (116)

публікацій присвячено використанню різних видів рослин для біоіндикації забруднення атмосферного повітря у місцях з інтенсивним автомобільним рухом та високою концентра-

цією виробничих об'єктів [23–28]. Для періодичного та експрес-моніторингу стану довкілля досить ефективним вважають метод біо-моніторингу якості урбанізованих екосистем

з використанням дистанційного зондування, оснований на вимірюванні спектральних відбивних характеристик листків деревних видів, зокрема липи серцелистої [29–33].

Результати досліджень змін спектральних відбивних характеристик листків липи серцелистої з різним ступенем некротичних уражень, відібраних у чотирьох різних місцях зростання в місті Гент (Бельгія), наведено в роботі [13], автори якої вимірювали спектральні відбивні характеристики у видимому діапазоні спектра (0,4–0,7 мкм). Результати їх досліджень підтверджують успішність цього методу для індикації якості урбанізованого довкілля.

На сьогодні відомо близько 160 варіантів вегетаційних індексів [34]. Їх обирають експериментально (емпіричним шляхом), враховуючи особливості кривих спектральної відбивної здатності рослинності і ґрунтів. Розрахунок більшої частини вегетаційних індексів ґрунтується на кількох найстабільніших (таких, що не залежать від інших факторів) ділянках кривої спектральної відбивної здатності рослин. На червону зону спектра (0,62–0,75 мкм) припадає максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом, у зеленій зоні (0,55 мкм) відбиття пов'язане з пігментним складом листка, у ближній інфрачервоній (0,75–1,3 мкм) фіксують максимальне відбиття енергії клітинною структурою листка. А.С. Черепанов і О.Г. Дружиніна зазначають [34], що висока фотосинтетична активність, пов'язана, як правило, зі збільшенням фітомаси, призводить до нижчих коефіцієнтів відбиття у червоній зоні спектра і до більших значень у ближній інфрачервоній. Як відомо, співвідношення цих показників уможливорює чітке відокремлення рослинності від інших природних об'єктів. Автори дослідження [35] пропонують використовувати як фенологічний індикатор вегетаційний індекс GRVI (зелено-червоний). Визначені співвідношення між значеннями GRVI та сезонними змінами рослинності вони вважають ефективними показниками фенологічного стану і пропонують їх для використання для екосистем різних типів як показники «тонких» порушень, пов'язаних із забрудненням середовища.

Як найінформативніший показник ми обрали індекс стресу (зворотний вегетаційний індекс), що характеризує стан рослини і визначає ступінь пригнічення фотосинтезу. За низьких значень цього показника продуктивність фотосинтезу вища і, відповідно, стан екосистеми загалом кращий. Для проведення моніторингу було відібрано зразки листків з локалітетів м. Києва з різною інтенсивністю антропогенного навантаження. Узагальнення даних (2014–2015 рр.) за індексом стресу наведено на рис. 2, з якого видно, що розрахований індекс стресу зростає в локалітетах, наближених до автомагістралей.

Досліджені локалітети за індексом стресу розподілено на 3 групи: сильне (2 підгрупи), середнє (2 підгрупи) та невелике забруднення. Місця зростання з високим рівнем забруднення можна умовно поділити на дві підгрупи. До першої, зі значеннями індексу стресу від 0,255 до 0,247, належать: вул. Щербакова, вул. Липківського, просп. Лобановського (Червонозоряний), вул. Вишгородська. Ці локалітети крім високої інтенсивності транспортних потоків характеризуються численними затоками на магістральних розв'язках, наслідком яких є значна концентрація шкідливих викидів продуктів згоряння палива. До другої підгрупи (індекс стресу 0,242–0,230) належать: бульвар Лепсе, вул. Набережно-Хрещатицька, просп. Науки, просп. Перемоги, Голосіївський проспект, просп. Академіка Палладіна, просп. Бажана (оз. Лебедине), просп. Степана Бандери (Московський), вул. Драгоманова, а також вул. Грушевського, де під час лютневих подій 2014 р. у довкілля інтенсивно надходили продукти згоряння автомобільних покришок.

Групу середнього забруднення було також розділено на дві підгрупи. До першої належать просп. Маяковського, вул. Закревського, Харківське шосе (вздовж автомагістралі), вул. Верхній Вал, парк ім. О.С. Пушкіна, вул. Метрологічна та Повітрофлотський проспект (індекс стресу 0,225–0,214). Зауважимо, що до проведення вимірювань парк ім. О.С. Пушкіна ми розглядали як локалітет з потенційно слабким антропогенним навантаженням, але отри-

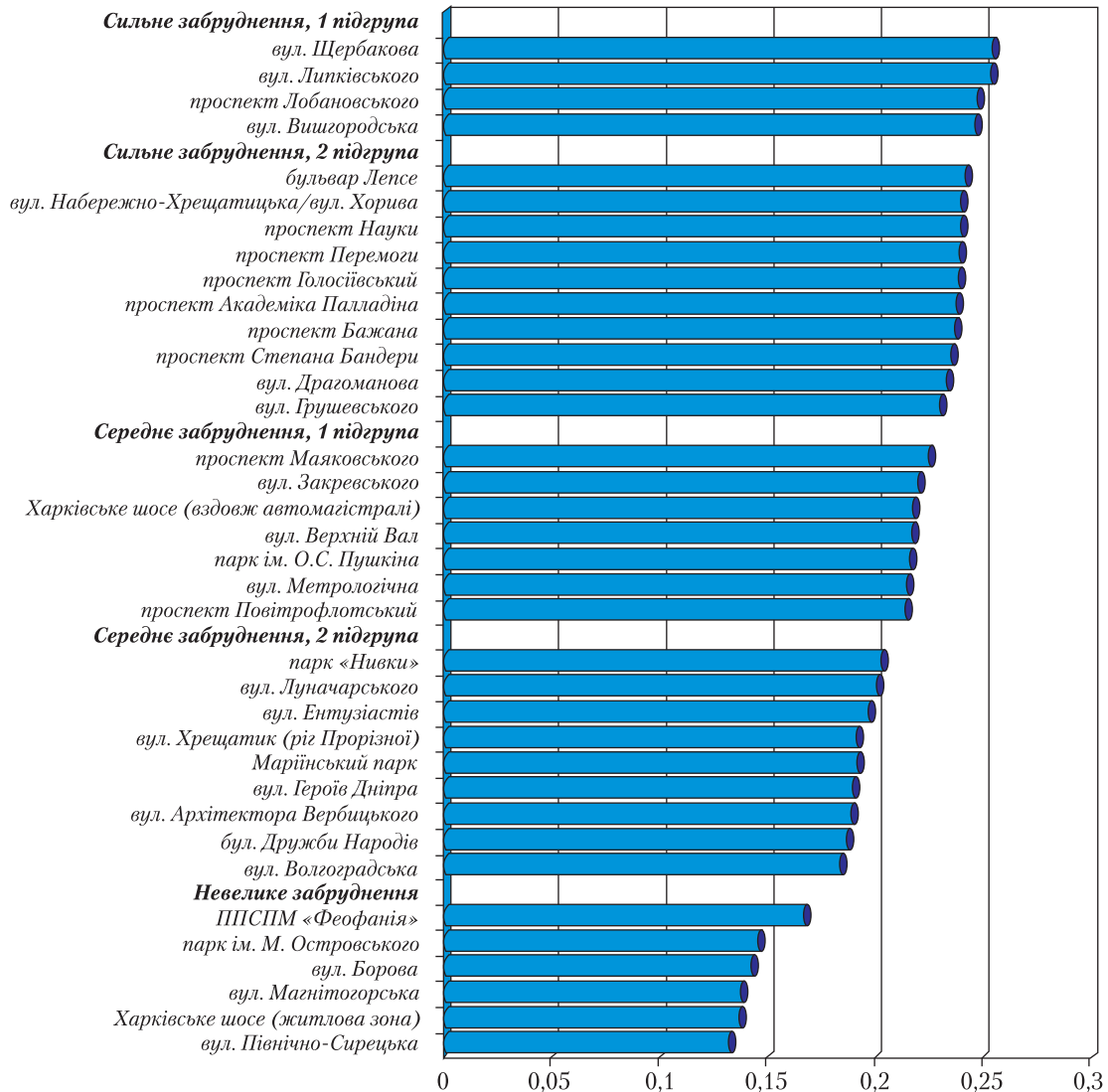


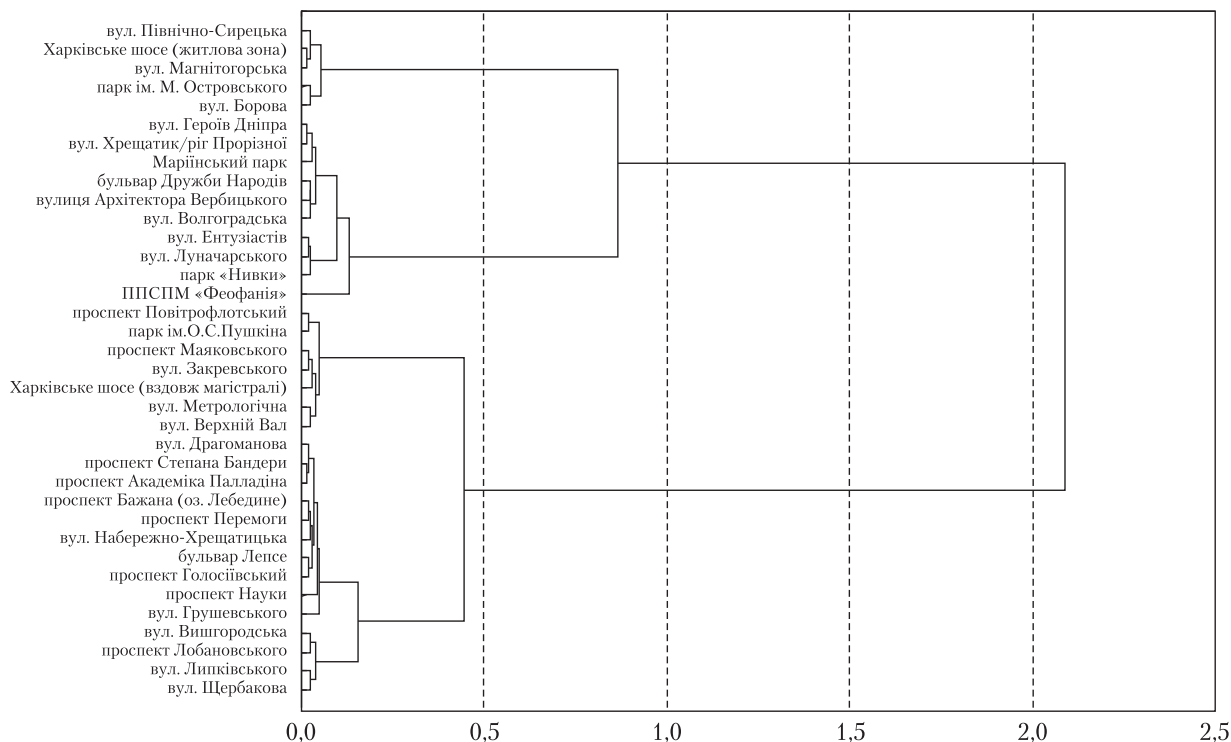
Рис. 2. Групування техногенного навантаження різних локалітетів м. Києва за індексом стресу (2014–2015 рр.)

мані дані свідчать про значний вплив на стан липи серцелистої близького розташування досліджуваного локалітету до просп. Перемоги та промзони заводу «Більшовик» (значення ІС – 0,216).

До другої підгрупи увійшли парк «Нивки», вул. Луначарського, вул. Ентузіастів, вул. Хрещатик, Маріїнський парк, вул. Героїв Дніпра, вул. Архітектора Вербицького, бульвар Дружби народів, вул. Волгоградська (індекс стресу 0,203–0,184).

Невеликий рівень антропогенного навантаження спостерігається у парку-пам'ятці садово-паркового мистецтва «Феофанія», в парку ім. М. Островського, на вул. Боровій (район парку Партизанської слави), вул. Магнітогорській, у житловій зоні Харківського шосе, на вул. Північно-Сирецькій (індекс стресу 0,167–0,132).

Результати проведеного дослідження спектральних відбивних характеристик біоіндикаторного виду *Tilia cordata* виявили тенден-



**Рис. 3.** Дендрограма подібності локалітетів липи серцелистої за індексом стресу у 2014–2015 рр.

цію зростання індексу стресу за градієнтом інтенсивності транспортних потоків м. Києва. Слід зазначити, що у локалітетах з високими значеннями індексу стресу також частіше спостерігаються різноманітні фітопатогенні ураження листків липи серцелистої. Проте, незважаючи на складний характер антропогенного забруднення урбоєкосистем м. Києва комплексом чинників, цей вид є достатньо стійким, що свідчить про його високий адаптаційний потенціал.

Для розподілу локалітетів за індексами стресу, що визначають рівень антропогенного забруднення території, додатково був застосований дисперсійний аналіз оцінки відстаней між кластерами [15] (рис. 3).

Поєднання даних дворічних досліджень методом кластерного аналізу дозволило отримати два окремих великих кластери, тобто в цьому випадку урбоєкосистеми м. Києва можна представити двома групами — з помірним та значним рівнями антропогенного навантажен-

ня. У ці групи, у свою чергу, входить по 3 підгрупи.

**I група, 1 підгрупа** (IC — 0,132–0,146): вул. Північно-Сирецька; Харківське шосе (житлова зона); вул. Магнітогорська; вул. Борова; парк ім. М. Островського.

**Окремий локалітет** (IC — 0,167): ППСПМ «Феофанія».

**I група, 2 підгрупа** (IC — 0,184–0,192): вул. Волгоградська; бульвар Дружби Народів; вул. Архітектора Вербицького; вул. Героїв Дніпра; вул. Хрещатик/ріг Прорізної; Маріїнський парк.

**I група, 3 підгрупа** (IC — 0,197–0,203): вул. Ентузіастів; вул. Луначарського; парк «Нивки».

**II група, 1 підгрупа** (IC — 0,214–0,225): проспект Повітрофлотський; вул. Метрологічна; парк ім. О.С. Пушкіна; вул. Верхній Вал; Харківське шосе (вздовж автомагістралі); вул. Закревського; проспект Маяковського.

**II група, 2 підгрупа** (IC — 0,230–0,242): вул. Грушевського; вул. Драгоманова; проспект

Степана Бандери (Московський); проспект Бажана (оз. Лебедине); проспект Академіка Палладіна; проспект Перемоги; проспект Голосївський; вул. Набережно-Хрещатицька; проспект Науки; бульвар Лепсе.

**II група, 3 підгрупа (IC – 0,247–0,255):** вул. Вишгородська; проспект Лобановського (Червонозоряний); вул. Липківського; вул. Щербакова.

Отримані результати переконливо свідчать про загальний високий рівень техногенного забруднення м. Києва. При цьому більш високий рівень забруднення і, відповідно, індекс стресу спостерігався на території адміністративних районів, розташованих у правобережній частині м. Києва. Це явище, на нашу думку, крім особливостей джерел забруднення, пов'язане також з відмінностями в будові рельєфу та мікрокліматичними умовами м. Києва.

Отже, дослідження на основі вимірювання спектральних відбивних характеристик біоіндикаторного виду *Tilia cordata* дало змогу виявити тенденції зростання індексу стресу за градієнтом інтенсивності транспортних потоків у м. Києві.

Показано, що біоіндикація антропогенного забруднення урбоєкосистем за спектральними характеристиками листків *Tilia cordata* Mill. є перспективним низьковартісним методом (*in situ*) екологічного моніторингу. Використання цього методу дає можливість на основі оптичних вимірювань фіксувати і вивчати стабільність реакцій рослин на дію природних та антропогенних стресорів, діагностувати адаптаційну фазу, фазу порушеної стійкості та фазу незворотних змін, кожній із яких притаманні свої фізіологічні механізми пригнічення та закономірності накопичення політантів.

## REFERENCES

### [СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Kurgaeva A.V. The use of fluctuating asymmetry to assess the ecological status of urban areas on the example of Ulyanovsk. In: *Bioindication in the Ecological Assessment of Soils and Related Habitats*: Proc. Int. Conf. (4–6 February 2013, Moscow). P. 117.  
[Кургаева А.В. Использование метода флуктуирующей асимметрии для оценки экологического состояния урбанизированных территорий на примере г. Ульяновска. В кн.: *Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред*: тезисы докл. Междунар. конф. (4–6 февраля 2013 г., Москва). М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. С. 117].
2. Nikolayevskiy V.S. *Environmental assessment of environmental pollution and status of terrestrial ecosystems by phytoindication methods*. (Moscow, 1999).  
[Николаевский В.С. *Экологическая оценка загрязнения среды и состояние наземных экосистем методами фитоиндикации*. М.: МГУЛ, 1999].
3. Maydebura I.S. Ph.D (Biol.) Thesis. (Kaliningrad, 2006).  
[Майдебуря И.С. *Влияние загрязнения воздушного бассейна города Калининграда на анатомо-морфологические и биохимические показатели древесных растений*. Автореф. дис... канд. биол. наук. Калининград, 2006].
4. Lutsyshyn O.G., Radchenko V.G., Palapa N.V., Yavorovskiy P.P. Macromorphological changes of reaction-answer of vegetable organisms in the street arboreal plantations of the Kyiv megapolis at stressful levels of technogenic pollution. *Dopov. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2010. (6): 180.  
[Луцишин О.Г., Радченко В.Г., Палапа Н.В., Яворовський П.П. Макроморфологічні зміни реакції-відповіді рослинних організмів деревних вуличних насаджень Київського мегаполіса при стресовому рівні техногенного забруднення. *Доп. НАН України*. 2010. № 6. С. 180–187].
5. Didukh Ya.P. *Fundamentals of bioindication*. (Kyiv: Naukova Dumka, 2012).  
[Дідух Я.П. *Основи біоіндикації*. К.: Наук. думка, 2012].
6. Andreeva A.V., Buznikov A.A., Timofeev A.A., Alekseeva-Popova N.V., Belyaeva A.I. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2006. 3(2): 265.  
[Андреева А.В., Бузников А.А., Тимофеев А.А., Алексеева-Попова Н.В., Беляева А.И. Оценка экологического состояния окружающей среды по спектрам отражения индикаторных видов растительности. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из Космоса*. 2006. Т. 3, № 2. С. 265–270].

7. Artamonov V.I. *Plants and purity of the natural environment*. (Moscow: Nauka, 1986).  
[Артамонов В.И. Растения и чистота природной среды. М.: Наука, 1986].
8. Andreeva A.V., Buznikov A.A., Timofeev A.A., Skryabin S.V. Spectral researches of technical loading on plants of megapolises. *Izvestiya SPbGETU LETI*. 2006. (1): 31.  
[Андреева А.В., Бузников А.А., Тимофеев А.А., Скрыбин С.В. Спектральные исследования техногенной нагрузки на растительность мегаполисов. *Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ*. Сер. «Физика твердого тела и электроника». 2006. Вып. 1. С. 31–38].
9. Andreeva A.V., Buznikov A.A., Skryabin S.V., Timofeev A.A., Alekseeva-Popova N.V., Belyaeva A.I. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2007. 4(2): 175.  
[Андреева А.В., Бузников А.А., Скрыбин 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. Kondratiev K.Ya., Fedchenko P.P. *The spectral reflectance and recognition of the vegetation*. (Leningrad: Gidrometeoizdat, 1982).  
[Кондратьев К.Я., Федченко П.П. *Спектральная отражательная способность и распознавание растительности*. Л.: Гидрометеоздат, 1982].
11. Levanchuk A.V., Kopytenkova O.I., Nekhoroshev A.S., Gayko I.I. *Uspekhi Sovremennogo Yestestvoznaniya*. 2005. (9): 59.  
[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].
12. Andreev D.N. The bioindication of environmental conditions on the chlorophyll fluorescence of pine needles. In: *Bioindication in the Ecological Assessment of Soils and Related Habitats*: Proc. Int. Conf. (4–6 February 2013, Moscow). P. 12.  
[Андреев Д.Н. Биоиндикация состояния окружающей среды по флуоресценции хлорофилла хвои сосны обыкновенной. В кн.: *Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред*: тезисы докл. Междунар. конф. (4–6 февраля 2013 г., Москва). М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. С. 12].
13. 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. 41: 58.
14. Surin V.G. *Agrophysica*. 2011. (2): 39.  
[Сурин В.Г. Активные оптические тестеры для информационного обеспечения точного земледелия, точного животноводства и экологической безопасности. *Агрофизика*. 2011. № 2. С. 39–49].
15. Ward J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of American Statistical Association*. 1963. 58(301): 236.
16. Falla J., Laval-Gilly P., Henryon M., Morlot D., Ferard J. Biological air quality monitoring: a review. *Environ. Monit. Assess.* 2000. 64: 627.
17. Conti M.E., Cecchetti G. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment — a review. *Environ. Pollut.* 2001. 114(3): 471.
18. Conti M.E. *Biological Monitoring: Theory & Applications*: Bioindicators and Biomarkers for Environmental Quality and Human Exposure Assessment. (WIT Press, 2008).
19. Grodzynska G., Syrchin S., Kuchma M., Konischuk V. Macromycetes — bioindicators of radiocaesium contamination of Ukrainian forest ecosystems. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2008. (9): 26.  
[Гродзинська Г.А., Сирчін С.О., Кучма М.Д., Коніщук В.В. Макроміцети — біоіндикатори забруднення радіоцезієм лісових екосистем України. *Вісн. НАН України*. 2008. № 9. С. 26–37].
20. Grodzinskaya A.A., Syrchin S.A., Kuchma N.D., Wasser S.P. In: *Mycobiota Ukrainian Polesye: the Consequences of the Chernobyl Disaster*. (Kyiv: Naukova Dumka, 2013).  
[Гродзинская А.А., Сырчин С.А., Кучма Н.Д., Вассер С.П. Аккумулятивная активность макромицетов в условиях радионуклидного загрязнения территории Украины. В кн.: *Микобиота Украинского Полесья: последствия Чернобыльской катастрофы*. К.: Наукова думка, 2013. С. 217–260, 368–373].
21. Oleniuc A.O., Sarbu R., Dunca E. Air Quality Monitoring Using Bioindicators in Jiu Valley. In: *SGEM-2013 Proc. GeoConf. on Energy and Clean Technologies*. (June 16–22, 2013).
22. Cen S. Biological Monitoring of Air Pollutants and Its Influence on Human Beings. *Open Biomedical Engineering Journal*. 2015. 9: 219.
23. Gonzalez S.M., Casanovas S.S., Pignata M.L. Biomonitoring of air pollutants from traffic and industries employing *Ramalina ecklonii* (Spreng.) Mey. and Flot. in Cordoba, Argentina. *Environ. Pollut.* 1996. 91: 269.



24. Kammerbauer J., Dick T. Monitoring of urban traffic emissions using some physiological indicators in *Ricinus communis* L. *Plants. Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2000. **39**: 161.
25. Klumpp A., Ansel W., Klumpp G., Calatayud V., Garrec J.P., He S., Peñuelas J., Ribas A., Ro-Poulsen H., Rasmussen S., Sanz M., Vergne P. Ozone pollution and ozone bio-monitoring in European cities. Ozone concentrations and cumulative exposure indices at urban and suburban sites. *Atmos. Environ.* 2006. **40**: 7963.
26. Wuytack T., Verheyen K., Wuyts K., Kardel F., Adriaenssens S., Samson R. The potential of biomonitoring of air quality using leaf characteristics of white willow (*Salix alba* L.). *Environ. Monit. Assess.* 2010. **171**: 197.
27. Khavaninzadeh A.R., Veroustraete F., Wuyts K., Kardel F., Samson R. Dorsi-ventral leaf reflectance properties of *Carpinus betulus* L.: an indicator of urban habitat quality. *Environ. Pollut.* 2012. **162**: 332.
28. Kardel F., Wuyts K., Khavaninzadeh A.R., Wuytack T., De Smedt S., Babanezhad M., Samson R. Comparison of leaf saturation isothermal remanent magnetisation (SIRM) with anatomical, morphological and physiological tree leaf characteristics for assessing urban habitat quality. *Environ. Pollut.* 2013. **183**: 96.
29. Sifakis N., Soulakellis N.A., Paronis D.K. Quantitative mapping of air pollution density using earth observations: a new processing method and application to an urban area. *Int. J. Remote Sensing.* 1998. **19**: 3289.
30. Retalis A., Cartalis C., Athanassiou E. Assessment of the distribution of aerosols in the area of Athens with the use of Landsat Thematic Mapper data. *Int. J. Remote Sensing.* 1999. **20**(5): 939.
31. 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. **178**: 7.
32. Nebesnyi V.B., Grodzinskaya A.A. Assessment of technogenic pollution of Kyiv (Ukraine) with spectral reflectal characteristics of *Tilia cordata* Mill. (*Tiliaceae*) leaves. *Environmental and Socio-economic Studies.* 2014. **2**(4): 38–42.
33. Nebesnyi V.B., Grodzynska G.A. An assessment of industrial pollution of Kyiv with the spectral reflection of leaves of *Tilia cordata* (*Tiliaceae*) leaves. *Ukrainian Botanical Journal.* 2015. **72**(2): 116.  
[Небесний В.Б., Гродзинська Г.А. Оцінка техногенного забруднення м. Києва за спектральними відбивними характеристиками листків *Tilia cordata* (*Tiliaceae*). *Укр. ботан. журн.* 2015. Т. 72, № 2. С. 116–121].
34. Cherepanov A., Druzhinina E. Spectral characteristics of vegetation and vegetation indexes. *Geomatics.* 2009. (3): 28.  
[Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы. *Геоматика.* 2009. № 3. С. 28–32].
35. Motohka T., Nasahara K.N., Oguma H., Tsuchida S. Applicability of Green-Red Vegetation Index for Remote Sensing of Vegetation Phenology. *Remote Sens.* 2010. **2**: 2369.

Стаття надійшла 06.04.2016.

V.B. Nebesnyi<sup>1</sup>, A.A. Grodzinskaya<sup>1,2</sup>, A.Yu. Gonchar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute for Evolutionary Ecology of National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv)

<sup>2</sup> Kholodny Institute of Botany of National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv)

#### USING A SPECTROPHOTOMETRIC METHOD FOR THE EVALUATION OF THE ECOLOGICAL STATE OF KYIV URBANIZED AREAS

A remote sensing spectrophotometric method for express assessment of the state of urban ecosystem was used. The method is based on the measurement of the spectral reflection characteristics of leaves of bioindicator species *Tilia cordata* Mill. According to the results of measurements stress index (reverse vegetation index) is calculated as the most informative measure of the degree of suppression of photosynthesis which indirectly determines the level of anthropogenic contamination of the territory. In terms of the stress index with the use of cluster analysis performed grouping of 36 localities of the 10 administrative districts of Kyiv. A clear trend of stress index values growth on a gradient of increasing the intensity of transport flows was defined. This method is recommended for ecological monitoring of environmental quality, and rapid assessment of changes in urban ecosystems.

**Keywords:** spectrophotometric method, *Tilia cordata* Mill., bioindication, stress index, urban ecosystems.