

УДК 504.055:582.746.51(477.54)

Ю. І. ВЕРГЕЛЕС, І. К. ГАЛЕТИЧ, канд. фіз.-мат. наук, доц.,
К. В. ДАНОВА, канд. техн. наук, доц., **К. М. ЗАДОРЖНИЙ**, канд. біол. наук,
А. І. РЕШЕТЧЕНКО, І. О. РИБАЛКА

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, 61002;
e-mail: Yuri_Vergeles@hotmail.com

РЕАКЦІЇ КЛЕНА ГОСТРОЛИСТОГО (*ACER PLATANOIDES L.*) МІСЬКИХ НАСАДЖЕНЬ НА ВПЛИВ КОМПЛЕКСУ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ АНТРОПОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Мета. Вплив шуму та електромагнітного поля антропогенного походження на стан модельного виду дерев клену гостролистого. **Методи.** Польові, біометричні, статистичні. **Результати.** Досліджено показники санітарного стану дерев клену гостролистого (*Acer platanoides L.*) на 13 експериментальних ділянках в насадженнях різних типів 4 еколого-фітоценотичних поясів (ЕФП) на території м. Харків влітку 2016 р. В кожному ЕФП ділянки розташовано на відстанях 10, 30 та 100 м від лінійних джерел шуму та електромагнітних полів. Аналіз головних компонент дозволив встановити достовірну сильну кореляцію між погіршенням показників санітарного стану насаджень модельного виду дерев та збільшенням рівня шумового навантаження. **Висновки.** Вплив фактора шуму не можна вважати специфічним, а радше таким, що діє в комплексі інших факторів антропогенного перетворення середовища зростання дерев на урбанізованих територіях, серед яких найважливішими є частка штучних покриттів, стан ґрунтового покриву і його ущільнення. Клен гостролистий може застосовуватися як індикатор придатності умов міського довкілля для інших його біотичних компонентів і для здоров'я та благополуччя людини.

Ключові слова: *Acer platanoides*, клен гостролистий, урбанізоване довкілля, шумове навантаження, фізичні фактори

Vergeles Yu. I., Galetych I. K., Danova K. V., Zadorozhnyi K. M., Reshetchenko A. I., Rybalka I. O.
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

THE EFFECTS OF ENVIRONMENTAL PHYSICAL FACTORS OF ANTHROPOGENIC ORIGIN ON THE NORWAY MAPLE (*ACER PLATANOIDES L.*) IN THE URBAN FOREST OF THE CITY

Purpose. The impact of noise and electromagnetic fields anthropogenic origin on the state model species of trees maple. **Methods.** Field, biometrics, statistics. **Results.** Tree health effects of the Norway Maple (*Acer platanoides L.*) in urban forest were studied on 13 sample plots within 4 different Urban Vegetation Zones (UVZs) in summer of 2016 in the city of Kharkiv, Ukraine. In each UVZ tree plots were selected at the distances of 10, 30 and 100 m from linear sources of urban traffic noise and power lines. The Principal Component Analysis revealed a strong positive correlation between deterioration of the tree health and increased noise levels. **Conclusions.** However, the noise factor cannot be considered as a principal one but a such that influences the tree health together with a complex of other anthropogenic factors of which the most significant are the percentage of artificial ground pavements, soil conditions and soil sealing.

Key words: *Acer platanoides*, Norway Maple, traffic noise, urban forest, UVZ

Вергелес Ю. И., Галетич И. К., Данова К. В., Задоржний К. Н., Решетченко А. И., Рыбалка И. А.
Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова

РЕАКЦИИ КЛЁНА ОСТРОЛИСТНОГО (*ACER PLATANOIDES L.*) ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЙ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ КОМПЛЕКСА ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ АНТРОПОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Цель. Влияние шума и электромагнитного поля антропогенного происхождения на состояние модельного вида деревьев клена остролистного. **Методы.** Полевые, биометрические, статистические. **Результаты.** Исследованы показатели санитарного состояния деревьев клёна остролистного (*Acer platanoides L.*) на 13 экспериментальных площадках в насаждениях разных типов 4 эколого-фитоцено-

тических поясов (ЭФП) на территории г. Харьков летом 2016 г. В каждом ЭФП площадки размещались на расстояниях 10, 30 и 100 м от линейных источников шума и электромагнитных полей. Анализ главных компонент позволил установить достоверную сильную корреляцию между ухудшением показателей санитарного состояния насаждений модельного вида деревьев и увеличением уровня шумовой нагрузки. **Выводы.** Влияние шумового фактора нельзя считать специфичным, а скорее таким, которое проявляется в комплексе других факторов антропогенного преобразования среды обитания деревьев на урбанизированных территориях, среди которых важнейшими являются доля искусственных покрытий, состояние почвенного покрова и его уплотнение. Клен остролистный может применяться как индикатор пригодности условий городской окружающей среды для других его биотических компонентов и для здоровья и благополучия человека.

Ключевые слова: *Acer platanoides*, клён остролистный, насаждения, урбанизированная среда, шумовое воздействие, ЭФП

Вступ

В екосистемах сучасного міста живі компоненти довкілля перебувають під впливом низки факторів антропогенного походження, які створюють відмінні від природних або помірно-модифікованих умови середовища існування [1, 5, 6]. Серед цих факторів, які можна охарактеризувати збірним терміном «забруднення», фізичні забруднення, а саме – шумове та електромагнітне, є найменш дослідженими стосовно впливів на організми, популяції та угруповання інших, ніж людина (*Homo sapiens L.*), біологічних видів.

Деревні рослини, які мають тривалі багаторічні зв'язки із середовищем зростання, можуть розглядатися в якості модельних організмів та біологічних індикаторів у комплексному моніторингу довкілля, якщо відповідні сталі зв'язки між їх морфофункціональними показниками та рівнями фізичного забруднення доведено. На теперішній час вже накопичено достатньо різноманітних даних стосовно реакцій деревних рослин різних видів та їх насаджень в цілому на дію окремих факторів довкілля – як природного, так і антропогенного походження, як специфічних так і неспецифічних, комплексних [1, 5, 6, 9, 19, 21, 23]. Ці відомості широко використовуються як в цілях екологічного моніторингу та оцінки стану довкілля, так і для підбору дерев до складу багатофункціональних насаджень міста – «міського лісу» [8, 18, 19, 21, 23]. Здебільшого дослідження охоплюють різноманітні впливи, пов'язані із хімічним забрудненням атмосфери, ґрунтів, іншими властивостями ґрунтів та механічними пошкодженнями дерев в урбанізованому довкіллі [1, 5, 7, 14, 19, 21]. Показники стану насаджень

використовуються також для екологічного зонування міських територій [1].

Останнім часом, у зв'язку із подальшим поширенням процесу урбанізації, появою нових джерел шуму і все більшого числа електронних та електротехнічних приладів нових поколінь у виробництві та вжитку, а також з розвитком систем електропостачання і мобільного зв'язку, увага дослідників привертається до можливих наслідків впливу фізичних факторів антропогенного походження щодо міських та природних екосистем та їх окремих компонентів на тлі впливу тривалої дії вже відомих факторів антропогенного перетворення довкілля, до яких у досліджуваних екологічних системах (організми, популяції, угруповання) сформувалися певні адаптивні комплекси. Крім ефектів окремих фізичних факторів довкілля техногенного походження на рівні організму та популяцій людини, що є предметом досліджень понад 30 років, нові результати здебільшого отримують вивчаючи організми, популяції та угруповання інших біологічних таксонів, серед яких «лідерами» за кількістю новітніх публікацій є тварини, а серед тварин – птахи, ссавці, риби та рибоподібні і, зрештою, комахи [15, 20]. При цьому кількість досліджень впливу шуму на порядок перевищує кількість досліджень впливу електромагнітних полів та випромінювання. Серед останніх здебільшого досліджують впливи від штучних джерел світла в урбанізованих ландшафтах [15, 20]. Рослинні системи в цьому контексті поки що досліджуються скоріше в поодиноких випадках, але кількість таких досліджень зростає щороку [7, 16, 24]. Припущення, що фізичні фактори довкілля антропогенного поход-

ження впливають на еволюцію біологічного різноманіття в сучасній біосфері, усвідомлюється багатьма науковцями [20]. Тому будь-які дані, що свідчать про наявність реакцій живих систем – від організму до багатовидових угруповань – на вплив відносно «новітніх» в еволюційному сенсі факторів довкілля, мають збиратися систематично на якомога більшій кількості різноманітних модельних об'єктів із використанням зрозумілих та надійних індикаторів такого впливу.

Для досліджень можливих зв'язків між рівнем фізичного забруднення та показниками морфо-функціонального стану дерев вибрано клен гостролистий (*Acer platanoides* L.) – автохтонний вид деревних рослин Європи, який широко представлений у складі насаджень природного і штучного походження на більшій території України та, зокрема, в м. Харків. Цей вид характеризується відносно високими рівнем інтегральної стійкості до аеротехногенного забруднення атмосфери [19, 21, 23], продуктивністю та естетичними якостями і використовується у складі насаджень різних типів, де він часто є видом домінантом або кодомінантом. Клен гостролистий, за

відношенням до ґрунтового багатства, вважається мезо-мегатрофом, але може зростати і на бідніших ґрунтах, механічний склад яких та вміст біогенних елементів істотно відрізняються від екологічно оптимальних для цього виду сірих лісових ґрунтів. В умовах змін клімату, які проявляються у вигляді регулярної тривалої літньої посухи, санітарний стан дерев цього виду погіршується [8, 12], але щодо нетривалої посухи, як і тривалої морозної погоди взимку, клен гостролистий виявляє досить високу стійкість.

Попри широке використання цього виду в зеленому та лісопарковому господарстві міст, його морфологічні та функціональні реакції на окремі фактори фізичної природи антропогенного походження, що можуть суттєво модифікувати вже відомі впливи факторів іншої природи, залишаються недостатньо дослідженими. Питання, чи можна відслідкувати вплив таких фізичних факторів урбанізованого середовища, як шум та електромагнітні поля антропогенного походження, на стан модельного виду дерев, і стало метою дослідження.

Методика дослідження

Дослідницькі задачі вирішували в такій послідовності:

1. Вибір ділянок насаджень основних типів із домінуванням або істотною присутністю клена гостролистого, що відображають стресові умови різного походження та рівня проявлення в урбанізованому довкіллі.

2. Формування на кожній ділянці вибірки дерев модельного виду, що відносяться до одного морфотипу (дерева із нормальною кроною типової форми та типовою формою листя), вікового класу (середньовікові насадження, 40-60 років) та не зазнали формуючого обрізування в останні 3-5 років.

3. Характеристика умов зростання клену гостролистого на кожній ділянці за однаковим набором вибраних параметрів/властивостей (вертикальна структура насаджень, ґрунтові умови, наявність штуч-

них покриттів, відстань до найближчих антропогенних джерел шуму та електромагнітних полів, штучне освітлення вночі, тощо).

4. Оцінка поточного санітарного стану індивідуальних дерев та середнього по кожній вибірці за усталеною методикою.

5. Характеристика рівня шумового навантаження в центрі кожної ділянки дослідження за стандартною методикою (вимірювання еквівалентного рівня шуму для сельбищних територій, L_{DEN}).

6. Багатовимірний статистичний аналіз поточного санітарного стану залежно від впливу комплексу стресогенних факторів та умов зростання насаджень.

Насадження з домінуванням клену гостролистого досліджувались в червні-вересні 2016 р. на 11 пробних ділянках, вибраних в межах сельбищної території вздовж пр. Науки від пл. Свободи до вул.

Отакара Яроша в північному секторі м. Харків, а також вздовж вул. Отакара Яроша та в Саржиному Ярі, паралельно високовольтній лінії електропередачі (ВЛЕП). Додатково 2 ділянки було вибрано в насадженнях свіжої діброви лісопарку на віддалені від значних джерел шуму, але поблизу ВЛЕП, що перетинає територію лісопарку в напрямку Сокольники – Олексіївка. На кожній ділянці сформовано вибірку із 5-10 дерев клену за принципом «найближчого сусіда», і таким чином, отримано площини довільної конфігурації від 0,05 до 0,10 га, в межах яких вимірювались вибрані характеристики умов зростання та рівні шумового навантаження. Проспект Науки є однією із магістральних радіальних транспортних осей на території м. Харкова (3 смуги по обидва боки), із потужним рухом громадського та приватного легкового та пасажирського (автомобільного та електричного) транспорту, а сучасна вул. О. Яроша – латеральною 2-смужною вулицею із інтенсивним рухом пасажирського та обмеженим рухом вантажного автотранспорту.

Вуличні та внутрішньо-квартальні насадження вздовж пр. Науки відносяться до III, IV та V еколого-фітоценотичних поясів (ЕФП) рослинного покриву міст [1], вздовж вул. О. Яроша – до III ЕФП, натомість насадження лісопарку – до II ЕФП. Насадження паркового типу в Саржиному Ярі на території рекреаційного комплексу «Джерело «Шатилівське»» та Ботанічного саду державного значення Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна репрезентують III

ЕФП. В кожному ЕФП вздовж пр. Науки та вул. О. Яроша вибрано по 3 ділянки насаджень – на відстані до 10 м, до 30 м та до 100 м від лінійного джерела шуму, по обидві боки від проїзної частини; крім того, при виборі ділянок вздовж вул. О. Яроша, яку перетинає ВЛЕП, враховувалась насамперед відстань від цього лінійного джерела електромагнітних полів (ЕМП). Ділянки в Саржиному Ярі та лісопарку (квартали 30 та 36) розміщувались на відстані до 30 м та до 100 м від ліній електропередач (ділянки не були закладені на відстані до 10 м по обидва боки ВЛЕП, враховуючи те, що, за правилами експлуатації, у 20-40-м смугах відчуження деревна та чагарникова рослинність підлягає періодичному вирубуванню). Ділянка в Саржиному Ярі на відстані до 100 м від ВЛЕП була контрольною для дослідження впливу шуму на дерева модельного виду, оскільки знаходилась на відстані понад 300 м від найближчих лінійних джерел, а ділянка в глибині масиву лісопарку (квартал 36) – контрольною для дослідження впливу як шуму, так й ЕМП. Штучне освітлення вночі було наявним на 10 ділянках із 13 (відсутнє – на ділянках в лісопарку та біля ВЛЕП у Ботанічному саду); його інтенсивність зменшувалась від ділянок вуличних насаджень до розташованих серед житлових кварталів. Розмір генеральної сукупності на 13 ділянках склав 119 дерев.

Розподіл вибраних ділянок насаджень відповідно факторам польового експерименту та їх робоча нумерація наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Розподіл експериментальних ділянок та розмір вибірок насаджень клену гостролистого на території північного сектору м. Харків за контрольованими факторами

Робочі позначення експериментальних ділянок (в дужках – розмір вибірки)		Відстань від лінійних джерел шуму, м			
		0-10	11-30	31-100	>100
Відстань від лінійних джерел ЕМП, м	0-10		3-2-TN+EM (10)		
	11-30	3-1-TN+EM (10)			3-2-EM (10) 4-2-EM (10)
	31-100			3-3-TN+EM (8)	3-3-EM (10) 4-3-EM (10)
	>100	1-1-TN (10) 2-1-TN (9)	1-2-TN (7) 2-2-TN (8)	1-3-TN (10) 2-3-TN (8)	

На кожній ділянці дослідження за допомогою окомірної зйомки встановлювали відсоткове покриття ярусів рослинного покриву: деревного (зімкнутість крон) (А), підросту (А_п), підліску (чагарники) (F), трав'яного (Н), ліан (V) та позаярусної рослинності (X).

Різноманіття вертикальної структури насаджень оцінювалось за допомогою індексу Шеннона [4]:

$$H' = - \sum_{j=1}^k p_j \cdot \ln p_j$$

p_j – частка кожного ярусу

рослинності від загальної суми покриттів всіх ярусів.

Відсоток, що займають штучні покриття від загальної площі ділянки, також оцінювався окомірною, із шагом 5%.

Ґрунтові умови ділянок насаджень оцінювались за допомогою двох незалежних показників – індексу ґрунтових умов (табл. 2) та індексу ущільнення ґрунту (табл. 3). Ці індекси є результатом адаптації подібних показників, що застосовуються в практиці моніторингу здоров'я лісових насаджень в Україні [3] до задач обстеження насаджень міських територій.

Таблиця 2

Індекс ґрунтових умов

Індекс	Характеристика
1	Умови наближені до природних ґрунтів
2	Слабо змінені ґрунти: зберігається наближена до природної структура, але ґрунт може бути насипним, хоча й без чужорідних домішок
3	Середньо змінені ґрунти, насипні або перемішані з чужорідними включеннями (напр., з будівельним сміттям)
4	Сильно змінені ґрунти: повністю порушена природна структура, насипні або перемішані ґрунти із значним включенням чужорідних елементів (напр., будівельного сміття)
5	Сильно змінений ґрунт, закритий штучними покриттями – асфальтом, бетоном, металевими ґратами и т.п.

Таблиця 3

Індекс ущільнення ґрунту

Індекс	Характеристика
1	Ґрунт рихлий, водопроникний, витоптування відсутнє або незначне на менш ніж 10% території ділянки
2	Ґрунт рихлий, водопроникний, витоптування слабе, на 10% - 25% території ділянки або середнє на менш ніж 10% території ділянки
3	Ґрунт ущільнений, водопроникний, витоптування середнє, на 25% - 50% території ділянки або сильне на менш ніж 25% території ділянки
4	Ґрунт ущільнений, слабо-водопроникний, витоптування середнє, на більш ніж 50% території ділянки або сильне на 25% - 50% території ділянки
5	Ґрунт сильно ущільнений або закритий штучними покриттями, непроникний для води, витоптування сильне на 60% - 100% території ділянки

Рівень шуму в кожній точці (центр ділянки дослідження насаджень) вимірювався двічі за сезон протягом 10 хв. вранці, вдень та ввечері за допомогою шумоміра-реєстратора даних DT-8852, згідно методики ДСТУ ГОСТ 31296.1:2007 «Шум. Опис, вимірювання і оцінка шуму на місцевості». Результати вимірювань після статистичної обробки представлені як оціночний еквівалентний рівень звукового тиску, дБА.

Рівні напруженості ЕМП в експериментальних точках безпосередньо не вимірювались, натомість для оцінки їх можливого впливу на морфо-функціональні показники дерев модельного виду використано сурогатні значення, а саме – відстань до лінійних джерел ЕМП.

Морфо-функціональними показниками обрано показники поточного санітарного стану індивідуальних дерев за методикою О. Д. Маслова в модифікації

УкрНДІЛГА імені Г. М. Висоцького [3]. Шкалу, за якою визначався індекс санітарного стану, наведено у табл. 4. При дослідженні враховувалися тільки дерева із живою кроною.

В подальшому аналізі використовувались середньо-вибіркові значення індексу санітарного стану для кожної ділянки дослідження, обчислені за методами нормальної параметричної статистики [2]. Достовірність середньо-вибіркових значень оцінено за допомогою критерію Стьюдента [2].

Багатовимірний статистичний аналіз зв'язків (аналіз головних компонент, АГК) між показниками морфо-фізіологічного стану дерев модельного виду та параметрами середовища зростання й рівнем прояву фізичних факторів антропогенного походження проведено за допомогою пакету прикладних статистичних розрахунків STATISTICA® 10.0.

Таблиця 4

Індекс санітарного стану дерев

Індекс	Характеристика
1	Дерево здорове, видимі пошкодження відсутні або незначно пошкоджені другорядні гілки крони
2	Дерево послаблене: пошкоджені 1-2 головні гілки, але не більш 15% крони
3	Дерево суховерхівкове: видимі пошкодження (усихання) до 1/3 крони, усихання верхівки
4	Дерево сухокронне: видимі пошкодження (усихання) від 1/3 до 2/3 крони, плодові тіла грибів на стовбурі
5	Дерево таке, що всихає: усихання більш 2/3 крони, плодові тіла грибів на стовбурі, літні отвори комах-ксилофагів
6	Свіжий сухостій: дерево усохло в поточному сезоні
7	Старий сухостій: дерево усохло в минулі роки

Результати та обговорення

Характеристики умов зростання, різноманіття вертикальної структури насаджень, рівнів шумового забруднення та санітарного стану дерев клену гостролистого отримані для 13 експериментальних ділянок (табл. 5). Досліджено насадження всіх основних типів, що представлені на території міста – лісові (вторинні ліси лісопаркової зони), паркові (в т.ч. сквери), внутрішньо-квартальні, вуличні – в чотирьох ЕФП.

Природні чи близькі до них ґрунтові умови притаманні ділянкам у лісопарку та Саржиному Яру. Найбільшим ступенем антропогенного перетворення ґрунтового покриву й ущільнення ґрунту характеризуються ділянки вуличних насаджень III-V ЕФП та внутрішньоквартальних насаджень IV і V ЕФП.

На решті ділянок ущільнення ґрунту визначено незначним або середнім. Цей

Таблиця 5

Характеристики точок експериментальних досліджень впливу факторів фізичного походження (шумове та електромагнітне забруднення) на компоненти довкілля урбанізованих територій. Оцінка стану дерев модельного виду *Acer platanoides* в насадженнях м. Харків (2016 р.)

Коди точок	Координати		Місце-положення	Тип насаджень	Санітарний стан індивідуальних дерев (тільки класи 1-5)										Ґрунтові умови (індекс)	Ущільнення ґрунту (індекс)	Проективне покриття ярусів рослинності, %						Штучні покриття, % Artif
	N	E			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			A	Aj	F	H	V	X	
1-1-TN	50°00,465'	36°13,664'	пр. Правди	вуличні	4	5	3	3	3	2	2	3	3	4	5	4	25	0	0	10	0	2	60
1-2-TN	50°00,552'	36°13,620'	пр. Правди, 7	внутр.-кварт.	2	3	2	2	2	2	3			4	5	25	1	3	1	0	0		55
1-3-TN	50°00,609'	36°13,887'	вул. Данилевського, 17	внутр.-кварт.	3	2	2	2	3	3	2	2	2	3	4	3	35	1	10	10	0	1	40
2-1-TN	50°01,387'	36°13,459'	пр. Науки, 38	вуличні	3	4	4	4	3	4	3	3	3	4	3	25	0	8	10	0	0		80
2-2-TN	50°01,235'	36°13,524'	пр. Науки, 28	внутр.-кварт.	2	3	2	2	3	2	2	3		3	3	45	1	3	5	0	3		30
2-3-TN	50°01,045'	36°13,434'	вул. Космічна, 26	внутр.-кварт.	3	2	4	2	2	3	2	2		3	3	30	2	4	20	0	2		20
3-1-TN+EM	50°01,646'	36°13,240'	вул. О. Яроша, 21	вуличні	3	3	5	2	4	4	3	4	5	4	5	4	20	0	0	1	0	1	90
3-2-TN+EM	50°00,618'	36°13,300'	вул. О. Яроша, 18д	сквер	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	3	3	45	0	3	15	0	0	5
3-3-TN+EM	50°01,692'	36°13,291'	вул. О. Яроша, 23 - пр. Науки, 27	внутр.-кварт.	2	2	3	3	2	2	2	1		4	4	25	5	6	5	0	4		35
3-2-EM	50°01,677'	36°14,017'	Саржин Яр	паркові	3	4	5	2	2	2	4	3	2	3	2	3	35	2	5	15	0	3	0
3-3-EM	50°01,563'	36°13,796'	Саржин Яр	паркові	3	3	2	2	3	2	2	3	2	2	2	2	45	2	0	5	1	1	5
4-2-EM	50°03,447'	036°14,095'	Лісопарк, кв. 30	лісові	4	3	2	3	3	3	3	2	2	3	1	1	35	10	10	45	0	3	0
4-3-EM	50°03,355'	36°14,045'	Лісопарк, кв. 36	лісові	2	2	3	2	1	2	3	2	1	2	1	1	45	10	7	30	0	5	0

фактор, разом із штучними покриттями, є ключовим для процесів газо- та водообміну і таким, що опосередковано впливає на термічний режим, у ризосфері [1, 5, 14]. Штучні покриття відсутні на 3 ділянках (лісопарк, Саржин Яр), а на решті займали від 5 до 90% площі, із максимумом – у вуличних насадженнях.

Покриття деревного ярусу насаджень, що оцінено як зімкнутість крон, варіювало в межах від 20% до 45%, незалежно від ЕФП, із найменшими значеннями – у вуличних насадженнях. Крім того, вуличні насадження за складом деревної рослинності визначено одновидовими, натомість насадження інших типів – багатовидовими, із кількістю видів від 3 до 6.

Деревний підріст відсутній повністю або представлений незначно (на рівні 1-5%) на всіх ділянках дослідження, крім у лісопарку. Чагарниковий ярус відсутній на 2 ділянках вуличних насаджень III і V ЕФП і на 1 ділянці в Саржиному Ярі, а на решті варіював в межах 3-10% незалежно від ЕФП та типу насаджень. Покриття трав'яного покриву, що розвивається спонтанно, зменшувалось від II до V ЕФП, з максимумом (30-45%) в насадженнях лісопарку та найменшими показниками (1-5%) – у вуличних та внутрішньоквартальних насадженнях.

Ліани, представлені диким виноградом п'ятилисточковим (*Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch.) із незначним покриттям в 1%, виявлено тільки на одній

ділянці в Саржиному Яру. Позаярусна рослинність (здебільшого, епіфітні та епігейні мохи та епіфітні лишайники) відсутня на 3 ділянках в III-V ЕФП, а на решті ділянок її покриття варіювало в межах 1-5% (табл. 5).

Різноманіття вертикальної структури рослинності в насадженнях, оцінене за індексом Шеннона, варіювало в межах 0,33-1,06 незалежно від типу насаджень та ЕФП (табл. 6).

Середні значення індексу санітарного стану дерев клена гостролистого на ділянках дослідження наведено в табл. 6. Всі результати обчислення середніх зважених виявились достовірними за критерієм Стьюдента ($p < 0,01$). Найкращі показники санітарного стану (середньо-вибіркові значення індексу в межах 2,00 – 2,20, тобто дерева послаблені) отримано для насаджень лісопарку та внутрішньоквартальних в глибині житлових кварталів в районі Павлова Поля (вул. О. Яроша). Найгірший санітарний стан (3,20 – 3,70, дерева сухокронні) відмічено в точках, що розташовані в різних ЕФП на відстанях до 10 м від джерел шуму, тобто транспортних шляхів. Таким чином, санітарний стан дерев клену гостролистого достовірно погіршується в умовах вуличних насаджень, де ступень антропогенної трансформації умов зростання досягає максимуму порівняно із іншими типами насаджень (рис. 1).

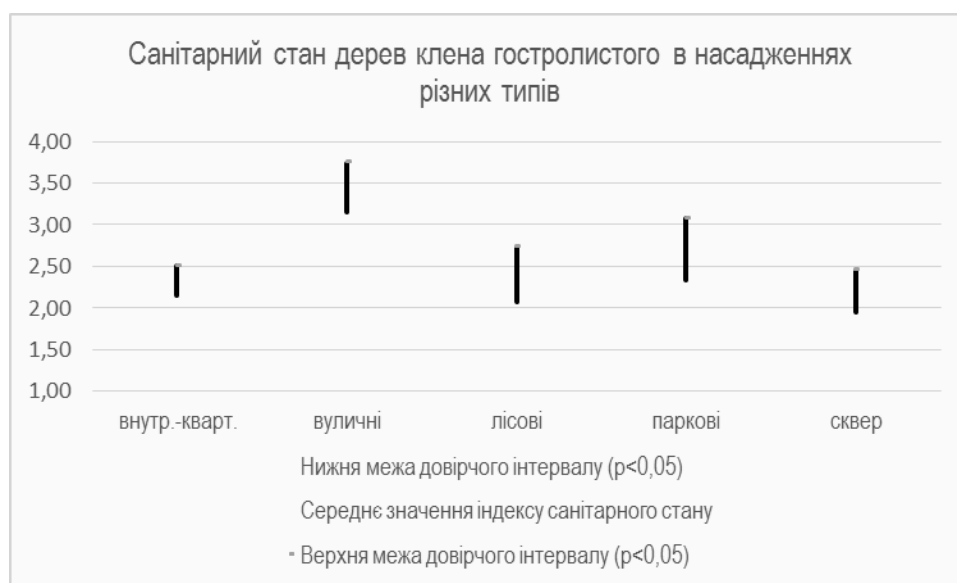


Рис. 1 – Показники санітарного стану дерев клена гостролистого в насадженнях різних типів

Таблиця 6

Узагальнені характеристики точок експериментальних досліджень впливу факторів фізичного походження на деревостани модельного виду дерев *Acer platanoides* для аналізу головних компонент

Коди точок	ЕФП	Відстань від джерела шуму, м	Відстань від джерела ЕМП, м	Індекс ґрунтових умов	Індекс ущільнення ґрунту	Різноманіття верт. стр-ри	Штучні покриття, %	Рівень шуму, дБА	Середній індекс сан. стану
1-1-TN	5	10	500	5	4	0,7762	60	66,6	3,20
1-2-TN	5	30	500	4	5	0,6638	55	45,7	2,29
1-3-TN	5	100	500	4	3	0,9550	40	44,5	2,40
2-1-TN	4	10	250	4	3	0,9496	80	68,0	3,44
2-2-TN	4	30	500	3	3	0,5374	30	60,6	2,29
2-3-TN	4	100	500	3	3	1,0585	20	47,3	2,50
3-1-TN+EM	4	10	30	5	4	0,5277	90	67,0	3,70
3-2-TN+EM	4	30	10	3	3	0,3317	5	57,5	3,00
3-3-TN+EM	4	100	100	4	4	1,3413	35	51,2	2,20
3-2-EM	3	300	30	2	3	1,0505	0	42,9	2,40
3-3-EM	3	300	100	2	2	0,3853	5	46,0	2,13
4-2-EM	2	1600	30	1	1	0,7254	0	38,9	2,80
4-3-EM	2	1500	100	1	1	0,8711	0	37,5	2,00

Порівнюючи середні значення показників санітарного стану дерев модельного виду в насадженнях різних ЕФП, виявлено, що клен гостролистий в насадженнях лісопарку (II ЕФП) має достовірно (за критерієм Стьюдента для міжвибіркових порівнянь, $p < 0,05$) кращий санітарний стан, ніж в насадженнях III-V ЕФП, між якими різницю за цим показником статистично не виявлено (рис. 2).

В результаті досліджень також визначено, що санітарний стан дерев клену гостролистого краще у насадженнях із більшою зімкнутістю крон, але кореляція між цими рядами параметрів виявилася слабкою (рис. 3).

Дослідження акустичних характеристик місць зростання модельного виду дерев на експериментальних ділянках за еквівалентним рівнем звукового тиску довело, що,

за винятком двох ділянок в лісопарковій зоні, середні значення цього показника (достовірно за критерієм Стьюдента при $p < 0,05$) варіювали в межах 42,9-68,0 дБА і, таким чином, скрізь перевищували 40 дБА, що за санітарними нормами є верхнім граничним безпечним рівнем шумового навантаження для сельбищних територій. Максимальні рівні шумового навантаження виявлені в точках, що розташовані на відстані до 10 м від проїзних частин вулиць із інтенсивним рухом транспорту. Рівень шуму зменшувався із збільшенням відстані від його джерел, але немонотонно і по-різному в різних ЕФП. Транспорт є головним джерелом шуму в міських ландшафтах, що доведено багатьма дослідженнями [10, 13, 17], але це – не єдине джерело: іншими, із різним рівнем значущості в різних функціональних зонах



Рис. 2 – Середні показники санітарного стану насаджень клену гостролистого в різних еколого-фітоценотичних поясах міста (ЕФП)

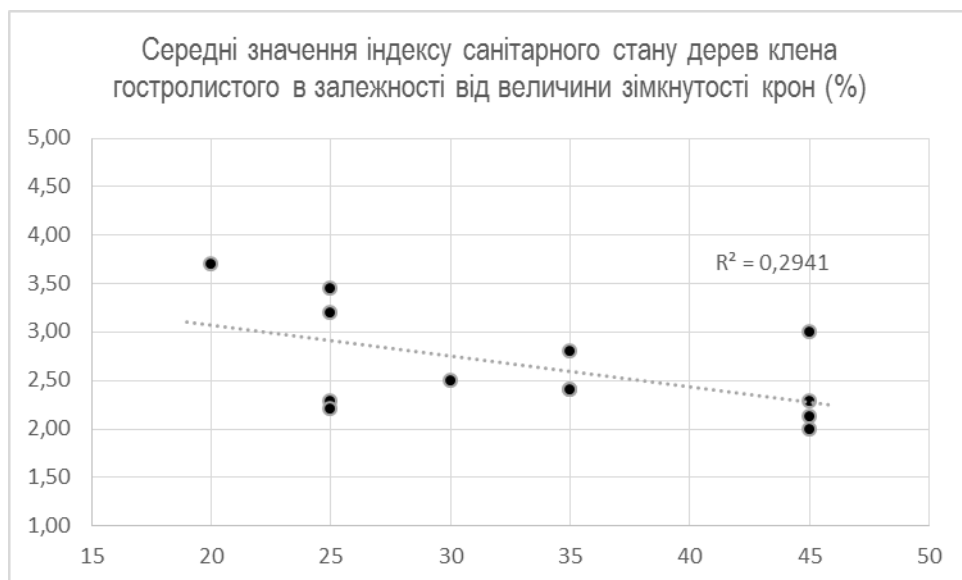


Рис. 3 – Середні показники санітарного стану клену гостролистого залежно від ступеню зімкнутості крон в середньовікових насадженнях, м. Харків

та ЕФП на міській території, є самі люди та їх діяльність, природні компоненти (рух повітряних, водних мас, деякі геологічні та метеорологічні явища, деревно-чагарникова рослинність тощо), а також сигналізація і комунікація тварин [13]. І хоча роль насаджень у зменшенні впливу шуму антропогенного походження є загальновізнаною [1, 5, 24], території із щільнішим рослинним покривом не завжди є «тихішими»

порівняно з місцевостями, де деревні та чагарникові яруси відсутні у структурі рослинного покриву [13].

Очевидно, що отримані результати не дають змоги встановити якийсь один чинник, що пояснював би варіабельність показників санітарного стану клену гостролистого в насадженнях різних типів та функціональних зон на території м. Харків. Для оцінки відносного внеску окремих

факторів середовища (із всього комплексу досліджених) у поточний санітарний стан дерев модельного виду проведено аналіз головних компонент (АГК), вихідні дані для якого зведені у табл. 6.

Результати АГК у вигляді матриці парних кореляцій між рядами даних за кожним із досліджених параметрів наведено у табл. 7. Статистично значущі коефіцієнти кореляції (при $p < 0,05$) виділено напівжирним накресленням шрифту.

Таблиця 7
Результати багатовимірної статистичного аналізу (АГК) санітарного стану насаджень клену гостролистого в умовах сельбищного міського ландшафту

Змінні	Середні значення	Станд. відхил.	THI_mean	EPhB	Dist_Noise	Dist_EMF
THI_mean	2,6416	0,5396	1,00000	0,25704	-0,27896	-0,13656
EPhB	3,7692	1,0127	0,25704	1,00000	-0,84407	0,68633
Dist_Noise	316,9231	556,573	-0,27896	-0,84407	1,00000	-0,41689
Dist_EMF	242,3077	220,233	-0,13656	0,68633	-0,41689	1,00000
Soil_Cond	3,1538	1,3445	0,54240	0,88506	-0,79666	0,43211
Soil_Seal	3,0000	1,1547	0,26034	0,85513	-0,81949	0,41617
VertStr_H'	0,7826	0,2929	-0,22362	0,03202	0,03976	0,12911
Artif	32,3077	31,2660	0,66186	0,64985	-0,56080	0,33258
Lden	52,1000	10,5029	0,76397	0,50298	-0,60946	0,14508

Продовження табл. 7

Змінні	Soil_Cond	Soil_Seal	VertStr_H'	Artif	Lden
THI_mean	0,54240	0,26034	-0,22362	0,661864	0,763969
EPhB	0,88506	0,85513	0,03202	0,649846	0,502978
Dist_Noise	-0,79666	-0,81949	0,03976	-0,560802	-0,609461
Dist_EMF	0,43211	0,41617	0,12911	0,332577	0,145081
Soil_Cond	1,00000	0,85883	0,06851	0,873004	0,728813
Soil_Seal	0,85883	1,00000	0,09724	0,669383	0,482369
VertStr_H'	0,06851	0,09724	1,00000	0,035375	-0,231637
Artif	0,87300	0,66938	0,03538	1,000000	0,748873
Lden	0,72881	-0,23164	-0,23164	0,748873	1,000000

Матриця коефіцієнтів парних кореляцій між змінними г. виділено статистично достовірні значення при $p < 0,05$; позначення змінних: *THI_mean* – середній показник індексу санітарного стану насаджень; *EPhB* – ЕФП; *Dist_Noise* – відстань до лінійного джерела шуму; *Dist_EMF* – відстань до джерела ЕМП; *Soil_Cond* – індекс ґрунтових умов; *Soil_Seal* – індекс ущільнення ґрунту; *VertStr_H'* – різноманіття вертикальної структури насаджень за Шенноном; *Artif* – частка штучних покриттів; *Lden* – еквівалентний рівень шуму

Привертає увагу те, що особливості різних ЕФП, що виділяються за ступенем трансформації природного рослинного покриву у напрямку від приміських зон до центральних частин міста [1], тісно пов'язані із особливостями ґрунтового покриву та

розміщенням антропогенних джерел фізичних факторів впливу на компоненти міської екосистеми. Так, зовнішні відносно центру міста ЕФП характеризуються більш природним станом ґрунтів ($r=0,89$), їх меншою ущільненістю ($r=0,86$), меншою

часткою штучних покриттів ($r=0,65$), і вони є більш віддаленими від потужних лінійних джерел шуму ($r=-0,84$). Стосовно відстані від ВЛЕП як основних джерел антропогенно-індукованих ЕФП в містах, позитивна кореляція між ЕФП та відстанню до них ($r=0,69$) є скоріше відображенням особливостей території досліджень, де дві потужні ВЛЕП проходили через лісопаркову та паркову зони; взагалі, ці характеристики мають бути незалежними одна від одної. Особливості різних ЕФП варто брати до уваги при плануванні та організації системи моніторингу довкілля міст.

Так само виявилось, що із збільшенням відстані від лінійних джерел шуму не тільки відбувається зменшення рівня шумового навантаження на довкілля ($r=-0,61$), зменшення частки штучних покриттів територій ($r=-0,56$, що зрозуміло, оскільки головним джерелом шуму є міський транспорт), але й спостерігається загальне покращення ґрунтових умов в насадженнях ($r=-0,82 \dots -0,80$).

Цікаво, що такі імпліцитно незалежні параметри середовища, як стан ґрунтів (по шкалі природність – штучність) та ступінь їх ущільнення, за нашими даними виявились тісно пов'язаними ($r=0,86$): більш трансформовані ґрунти в умовах м. Харків є й більш ущільненими. Цей факт варто враховувати при плануванні та догляді за міськими насадженнями [7], адже і штучні ґрунти можна підтримувати у сприятливому для зростання дерев та чагарників стані, що, зокрема, доведено як у відносно давньому порівняльному дослідженні міських насаджень в м. Харків та трьох польських містах [21], так і у найновіших дослідженнях вуличних насаджень в Сінгапурі та Австралії [11, 14].

Такий параметр середовища зростання міських насаджень, як частка штучних покриттів, має позитивні кореляції із параметрами ґрунтових умов ($r=0,87$), ущільнення ґрунту ($r=0,67$) та рівнем шумового навантаження ($r=0,75$): тобто, на ділянках, де штучні покриття становили меншу частку, і рівень шумового навантаження є меншим.

Різноманіття вертикальної структури насаджень стало єдиним фактором, який не виявив значущих кореляцій із жодним іншим фактором.

Результати багатовимірного статистичного аналізу довели відносно сильну позитивну кореляцію ($r=0,76$) санітарного стану насаджень з еквівалентним рівнем шуму в місцях зростання (табл. 7), тобто санітарний стан дерев модельного виду погіршується із збільшенням шумового навантаження на середовище зростання. Однак безпосередні причинно-наслідкові відношення між рівнем шумового навантаження та інтегральними морфо-фізіологічними показниками дерев не є очевидними. Стан здоров'я насаджень в цілому зумовлюється дією комплексу факторів (як зовнішніх – зростання гемеробності екотопів, хімічне забруднення, ущільнення ґрунту, кліматичні зміни, фітофаги, ксилофаги, фітопатогени, так і внутрішніх – індивідуальні варіації чутливості та стійкості окремих дерев до зовнішніх впливів [1, 5, 8, 9, 12, 19, 21]), як пов'язаних із лінійними джерелами шуму, так і незалежних від них. Варто зазначити, що в умовах, де транспорт із дизельними двигунами або двигунами внутрішнього згорання є головним джерелом шуму, рівень останнього має позитивну кореляцію із рівнем хімічного забруднення повітря, зокрема, оксидами азоту (NO_2 , NO_x): цей зв'язок доведено у низці сучасних досліджень [10, 17, 22].

Дещо слабшою є кореляція між санітарним станом дерев клену та часткою штучних покриттів в місцях зростання насаджень ($r=0,66$), адже найгірші показники стану виявлено для вуличних насаджень, де частка штучних покриттів сягає до 90%. Наявність штучних покриттів, як відомо, погіршує умови водного та газового обміну, а також мінерального живлення в ризосфері. Крім того, штучні малопроникливі або непроникливі для води покриття сприяють утворенню екстремального за термічними характеристиками мікросередовища зростання деревних рослин [1, 5, 7, 14].

Зазначені результати АГК дозволили виділити дві головні компоненти, що сукупно пояснюють близько 76% дисперсії показника санітарного стану дерев модельного виду. Таким чином, утворюється факторний простір, в якому скоординовано досліджені змінні (рис. 4).

Виконані дослідження показали, що в місцях із максимально несприятливими умовами зростання дерев модельного виду і рівні шумового навантаження були максимальними, а зменшення еквівалентного рівня шуму сигналізує і про дещо сприятливіші умови зростання, що відображається у відносно кращому поточному санітарному стані. Можна зазначити і своєрідний зворотній зв'язок: погіршення санітарного стану насаджень клену гостролистого в

насадженнях сельбищного ландшафту є індикатором погіршення екологічних умов існування і для людей, що мешкають у містах – в тому числі і за акустичною складовою довкілля. Недарма в низці сучасних досліджень, виконаних у країнах Європи, Азії та Америки, стверджується про позитивний вплив здорових і безпечних міських насаджень на стан здоров'я і рівень загального добробуту населення [7, 13, 16, 23].



Рис. 4 – Проекції змінних стану насаджень клену гостролистого та параметрів середовища зростання на факторну площину, утворену головними компонентами (позначення змінних – як в табл. 7).

Відносно інших фізичних факторів антропогенного походження, АГК, зокрема, не виявив значимих кореляцій між показниками санітарного стану насаджень та відстанню до джерел ЕМП як в місцях, де ВЛЕП проходили поруч із зонами міського транспорту, так і у віддалені від цих лінійних джерел шуму.

Хоча клен гостролистий в умовах урбанізованих ландшафтів України є одним із найбільш поширених у використанні видів дерев в складі насаджень міст та лісопаркових зон і може й надалі використовуватися як модельний об'єкт моніторингу та контролю стану довкілля, відомості про реакції інших поширених видів

деревних рослин – як автохтонів, так і алохтонів – на дію окремих факторів фізичної природи антропогенного походження та їх комплексу є необхідними для планування та впорядкування насаджень загального та спеціального використання з метою

При дослідженні встановлено достовірну сильну кореляцію між погіршенням показників санітарного стану насаджень модельного виду дерев клена гостролистого (*Acer platanoides* L.) та збільшенням рівня шумового навантаження, але вплив цього фактора не можна вважати специфічним, а радше таким, що діє в комплексі інших факторів антропогенного перетворення середовища зростання дерев на урбанізованих територіях, серед яких найважливішими є частка штучних покриттів, стан ґрунтових умов та ущільнення ґрунту.

Вимірювання та оцінка рівня шумового навантаження на сельбищних територіях в поєднанні із оцінкою інтегральних показників стану деревних рослин-індикаторів може опосередковано надавати цінну інформацію стосовно загального рівня безпеки екологічної ситуації для людини.

Таким чином, клен гостролистий може застосовуватися як індикатор придатності

підвищення їх стійкості до стресогенних факторів урбанізованого довкілля, а також підсилення їх шумозахисних властивостей, особливо вздовж сельбищних зон, що безпосередньо межують із зонами міського транспорту.

Висновки

умов міського довкілля для інших його біотичних компонентів і для здоров'я та благополуччя людини. Але для кращого розуміння зв'язків цього виду із факторами урбанізованого довкілля бажано дещо розширити набір індикаторів морфо-фізіологічного стану на рівні індивідуальних дерев, зокрема, залучити до подальшого аналізу показники флуктуючої асиметрії морфологічних характеристик листя і дані щодо вмісту комплексу хлорофілів та каротиноїдів в листі.

Зменшення рівню шумового забруднення сельбищних територій завдяки регулюванню його джерел, особливо пов'язаних із міським транспортом, та застосуванню агро- та лісотехнічних засобів щодо поліпшення ґрунтових умов зростання разом із підтриманням більш щільної горизонтальної та вертикальної структури насаджень може сприяти покращенню як стану насаджень, так і умов існування популяції людини в містах.

Література

1. Кучерявий В. П. Урбоекологія. Львів : Світ, 2002. 440 с.
2. Лакин Н. Ф. Биометрия : изд-е 2-е, испр. и доп. М. : Высш. шк., 1990.
3. Моніторинг та підвищення стійкості антропогенно порушених лісів. Збірник рекомендацій УкрНДЛІГА / Упор.: В. П. Ворон та ін. – Харків : Нове слово, 2011. 304 с.
4. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение; Пер. с англ. М. : Мир, 1992. 182 с.
5. Фролов А. К. Окружающая среда крупного города и жизнь растений в нем / А. К. Фролов. – СПб: Наука, 1998. - 328 с.
6. Экология города. Учебник / Г. А. Белявский, Е. Д. Брыгинец, Ю. И. Вергелес и др.; Под ред. Ф. В. Стольберга.- К. : Либра, 2000. 464 с.
7. Bodnaruk, E.W., Kroll, C.N., Yang, Y., Hirabayashi, S., Nowak, D.J., and Endreny, T.A. (2017), Where to plant urban trees? A spatially explicit methodology to explore ecosystem service tradeoffs. *Landscape and Urban Planning*, 157: 457-467. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.08.016>
8. Brandt, L., Lewis, A.D., Fahey, R., Scott, L., Darling, L., and Swanston, C. (2016), A framework for adapting urban forests to climate change. *Environmental Science & Policy*, 66: 393-402. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.005>
9. Cekstere, G. and Osvalde, A. (2012), A study of chemical characteristics of soil in relation to street trees status in Riga (Latvia). *Urban Forestry & Urban Greening*, 12: 69-78. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2012.09.004>
10. Foraster, M., Deltell, A., Basagaña, X., Medina-Ramón, M., Aguilera, I., Bouso, L., Grau, M., Phuleria, H. C., Rivera, M., Slama, R., Sunyer, J., Targa, J. and Künzli, N. (2011), Local determinants of road traffic noise levels versus determinants of air pollution levels in a Mediterranean city. *Environmental Research*, 111: 177-183. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2010.10.013>
11. Ghosh, S., Scharenbroch, B. C., Burcham, D., Ow, L. F., Shenbagavalli, S., and Mahimairadja, S. (2016), Influence of soil properties on street tree attributes in Singapore. *Urban Ecosystems*, 19: 949-967. doi:10.1007/s11252-016-0530-8

12. Gillner, S., Bräuning, A., and Roloff, A. (2014), Dendrochronological analysis of urban trees: climatic response and impact of drought on frequently used tree species. *Trees*, 28: 1079-1093. doi: 10.1007/s00468-014-1019-9
13. Margaritis, E., Kang, J. (2017), Relationship between green space-related morphology and noise pollution. *Landscape and Urban Planning*, 157: 921-933. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.032>
14. Mullaney, J., Lucke, T., and Trueman, S. J. (2015), The effect of permeable pavements with an underlying base layer on the growth and nutrient status of urban trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14: 19–29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2014.11.007>
15. Newport, J., Shorthouse, D. J. and Manning, A. D. (2014), The effects of light and noise from urban development on biodiversity: Implications for protected areas in Australia. *Ecological Management & Restoration*, 15: 204–214. doi: 10.1111/emr.12120
16. Pathak, V., Tripathi, B. D. and Mishra, V. K. (2011), Evaluation of Anticipated Performance Index of some tree species for green belt development to mitigate traffic generated noise. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10: 61–66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2010.06.008>
17. Ross, Z., Kheirbek, I., Clougherty, J. E., Ito, K., Matte, T., Markowitz, S. and Eisl, H. (2011), Noise, air pollutants and traffic: Continuous measurement and correlation at a high-traffic location in New York City. *Environmental Research*, 111: 1054–1063. doi: 10.1016/j.envres.2011.09.004
18. Seamans, G. S. (2012), Mainstreaming the environmental benefits of street trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12: 2–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2012.08.004>
19. Shtepenko, O.L. and Vergeles, Yu.I. (1999), Using tree stand health indices for the environmental impact assessment of industrial area in the city of Kharkiv, Ukraine. *Acta Horticulturae* (ISHS), 496: 409-420. http://www.actahort.org/books/496/496_51.htm
20. Swaddle, J. P., Francis, C. D., Barber, J. R., Cooper, C. B., Kyba, C. C. M., Dominoni, D. M., Shannon, G., Aschehoug, E., Goodwin, S. E., Kawahara, A. Y., Luther, D., Spoelstra, K., Voss, M., and Longcore, T. (2015), A framework to assess evolutionary responses to anthropogenic light and sound. *Trends in Ecology & Evolution*, 30: 550–560.
21. Vergeles, Y.I., Vyshnevetski, O.G. (2001), Tree stands in the urban landscapes of Central and Eastern Europe: Comparisons between the city of Kharkiv, Ukraine, and three Polish cities. *Publicationes Geographici Universitatis Tartuensis*, 92. IALE European Conference 2001 “Development of European landscapes”. Conference proceedings. V.II: 621-627. (ISSN 1406-3069).
22. Vlachokostas, C., Achillas, C., Michailidou, A. V. and Moussiopoulous, N. (2012), Measuring combined exposure to environmental pressures in urban areas: An air quality and noise pollution assessment approach. *Environment International*, 39: 8-18. doi: 10.1016/j.envint.2011.09.007
23. Vogt, J., Gilner, S., Hofmann, M., Tharang, A., Dettmann, S., Gerstenberg, T., Schmidt, C., Gebauer, H., Van de Riet, K., Berger, U., and Roloff, A. (2017), Citree: A database supporting tree selection for urban areas in temperate climate. *Landscape and Urban Planning*, 157: 14-25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.06.005>
24. Zhang, J., Guo, X. and Zhao, C. (2015), Nonlinear prediction model of noise reduction by greenbelts. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14: 282–285.

Надійшла до редколегії 23.10.2016