

ПРИКЛАДНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АНТРОПОГЕННИХ ЛАНДШАФТІВ

УДК 91.001.5; 91.001.57

DOI: 10.31652/2786-5665-2023-3-56-67

Корогода Н.П.

кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної географії та геоекології.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна

nkorogoda@knu.ua

<https://orcid.org/0000-0003-1518-2997>

ОЦІНКА ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ЗІ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ШУМУ ВІД ДОРОЖНЬОГО РУХУ У МІСЬКИХ ЛАНДШАФТАХ

Анотація. Шумове забруднення від автошляхів є одним з чинників погіршення якості життя в містах. Серед інших вигод – екосистемних послуг (ЕП), що отримують містяни від зелених зон, зниження рівнів дорожнього шуму є однією з провідних. Втім, наразі бракує технологій, які були б простими у використанні та такими, за якими легко визначати обсяги ЕП. Відповідно до мети, було розроблено методику оцінки ЕП по зниженню рівня шуму від дорожнього руху. Адекватно до обраних індикаторів, було сформовано базу геоданих (БД). Розрахунковими показниками стали середні рівні шуму ($P_{emission}$), відстань (D) від автошляхів та коефіцієнт зниження рівня шуму ($I_{noise_reduction}$). В процесі ГІС-моделювання, було визначено: характеристики первинного поля забруднення ($Cont_noise$), «залишковий» рівень шуму в зеленій зоні ($Noise$) та її ефективність ($E_{noise_reduction}$). Показники ефективності, на основі функції бажаності Харрінгтона, дозволили обрахувати обсяги ЕП ($ES_{noise_reduction}$). За таким алгоритмом, всі зелені зони, які здатні знижувати шум до безпечних або близьких до таких рівнів надають ЕП в максимальних обсягах.

Ключові слова: екосистемні послуги, міські зелені зони, автошляхи, шум.

Korohoda N. P. ASSESSMENT OF ECOSYSTEM TRAFFIC NOISE REDUCTION SERVICE IN THE URBAN LANDSCAPES

Abstract. Noise pollution is one of the most influential factors in the degradation of the quality of life in cities. The problem is that in recent years, the level of urban noise impact on the environment and public health has increased by almost 25% globally. Traffic plays a dominant role in urban noise generation. Natural vegetation, provided it is large enough and dense enough, is an effective means of combating traffic noise. That is, among the other benefits – ecosystem services (ES) – that urban residents receive from green areas, reducing road noise levels is one of the leading ones. However, there is currently a lack of methods and technologies that are easy to use and easy to determine the volume of ES. Thus, the development of a methodology for assessing ecosystem services to reduce traffic noise is the main purpose of this paper. The materials used for the study were open cartographic data on: green areas and roads extracted from the OpenStreetMap database; vegetation of the study area and its redistribution within green areas extracted from ESA WorldCover and Copernicus Land Cover products.

The paper develops a methodology for assessing ecosystem services to reduce the level of traffic noise, based on determining the efficiency of the relevant function. A geodatabase (DB) has been created to correspond to the defined indicators. The calculated parameters were the average noise levels ($P_{emission}$), distance (D) from motorways and noise reduction coefficient ($I_{noise_reduction}$). In the process of GIS modelling, were determined: characteristics of the primary pollution field ($Cont_noise$), the «residual» noise level in the green zone ($Noise$) and its effectiveness in function ($E_{noise_reduction}$). Efficiency indicators, based on the Harrington's desirability function, allowed to calculate the volume of provision of the ES for reducing motorway noise ($ES_{noise_reduction}$). According to this algorithm, all green areas that are able to reduce the initial noise levels to safe or close to safe levels are provided with the maximum volumes of ES.

The assessment carried out using this methodology can be a useful tool in urban planning decisions, as it allows to identify green areas that need priority action to improve their ability to reduce road noise.

Keywords: ecosystem services, urban green spaces, roads, noise.

Постановка проблеми. Шумове забруднення є одним з найвпливовіших чинників погіршення якості життя в містах. Так, у Європейському Союзі понад 40% (близько 170 млн. осіб) населення піддається впливу автомагістрального шуму, рівень якого перевищує 55 дБ, а ще 20% (близько 80 млн. осіб) – понад 65 дБ (Samara & Tsimoni, 2011; Gratani et al., 2013). Проблемою також є те, що за останні роки у світі рівень впливу міського шуму на стан навколишнього середовища і здоров'я населення зріс майже на 25 % (Решетченко, 2020).

Шумове забруднення суттєво погіршує як фізичне так і психологічне здоров'я містян (Gratani et al., 2013). Його надмірний рівень може стати причиною нервового виснаження, психічної пригніченості, швидкої стомлюваності, ослаблення пам'яті, уваги тощо (Розробка Шумозахисних Заходів, 2020). Вплив шуму провокує, патологічні зміни в органах слуху, центральної нервової і серцево-судинної систем, збільшення травматизму тощо (Решетченко, 2018). Все це загалом призводить до зниження продуктивності праці: зростання шуму на 10 дБ зменшує продуктивність на 5-8% (Розробка Шумозахисних Заходів, 2020). При досягненні еквівалентних рівнів шуму до 80 дБ ризик захворюваності зростає майже до 90 %, втім навіть при рівні 65 дБ вже створюється помірний ризик для людей віку 12-27 років, високий – для осіб до 40 років та екстремальний – після 40 (Шевченко, 2016). При цьому майже половина населення України відчуває на собі вплив саме такого рівня шуму.

Незважаючи на те, що факторів виникнення міського шуму є досить багато, саме дорожній рух відіграє домінуючу роль у його формуванні (Gratani et al., 2013). Частка, яку становить транспортний шум сягає 60-80%. З усіх видів транспорту автомобільний є тим, що створює найбільші ризики, оскільки автомобі-

лі є переважаючими джерелами інтенсивного і тривалого шуму і, до того ж вони поширені по всій території міста (Міронова та ін., 2021, Решетченко, 2018). Відповідно до (Решетченко, 2020), понад 80 % шумового навантаження на територіях житлової забудови міст спричинено саме автомобільним транспортом. Крім того людина є більш чутливою до низьких та середніх частот шуму, що і продукується саме транспортом (Gratani et al., 2013).

Природна рослинність, за умови достатньо великої площі та щільності є ефективним засобом боротьби із дорожнім шумом, оскільки листя рослин знижують рівні шуму саме на частотах, що продукуються дорожнім рухом. Крім того шумозахисні бар'єри з рослинності є екологічно чистими (Ow & Ghosh, 2017).

У багатьох наукових працях розкрита шумопоглинальна властивість зелених насаджень, прямий ефект якої полягає в ослабленні звукових коливань у момент їх проходження крізь гілки, листя або хвою (Денисюк, 2021). Зниження шуму зеленими насадженнями відбувається головним чином за рахунок відбивання, поглинання і трансформації звукових хвиль. Крони дерев поглинають 26% звукової енергії, розсіюють близько 25%, 49 % відбивають (Використання Технологій., 2023). Природньо, що густіша рослинність, має більшу загальну площу поверхні контакту зі звуковою хвилею, відповідно відбувається більше поглинання та відбиття звуку (Gratani et al., 2013).

Таким чином, серед інших вигод – екосистемних послуг (ЕП), що отримують жителі міст від зелених зон, саме зниження рівнів дорожнього шуму є однією з провідних. Відповідно оцінка ЕП зі зниження рівня шуму від дорожнього руху є однією з найактуальніших задач, що нині стоять перед містопланувальниками. Оскільки оцінювання та реалізація кроків щодо підвищення обсягу ЕП дозволить

створити безпечні та комфортні умови проживання в місті.

Аналіз джерел та останніх досліджень.

На сьогодні представлено значну кількість робіт, що присвячено вивченню зниження рівнів шуму та його негативних впливів в містах при функціонуванні зелених зон (*Gratani et al., 2013*). В численних публікаціях представлено в основному результати досліджень, зокрема натурних, що були направлені на оцінку взаємозв'язку між параметрами рослинності та рівнем зниження шуму у місті. Наприклад в роботі (*Nunho dos Reis et al., 2022*) було оцінено взаємозв'язок між зниженням шуму та біофізичними характеристиками зелених зон. Досить велика кількість робіт, присвячена моделюванню впливу рослинності на зниження рівня шуму, що проводилась як в Україні так і за кордоном, базується на емпіричних моделях. Наприклад, у роботі (*Шевченко, 2016*) розглядається питання картографування перерозподілу шуму зокрема за допомогою ГІС. У роботі (*Xing & Brimblecombe, 2020*) використовувались моделі для оцінки впливу окремих елементів на шумозниження в міських парках. У роботі (*Liu et al., 2023*) було проведено оцінку обсягів надання міськими зеленими зонами ЕП по зниженню рівнів шуму та визначено їх вартість. За результатами оцінки вартість ЕП в досліджуваних зелених зон склала 1,16 млрд юанів у загальноміському та районному вимірах.

Мета статті. Зважаючи на низку проблем, що викликає шумове забруднення та численні роботи, що вказують на ефективність зелених зон у захисті від нього, стає зрозумілим, що саме синьо-зелена інфраструктура (СЗІ) міста і є одним із основних механізмів у створенні безпечного довкілля для містян. Втім, проаналізувавши наявні дослідження, нами було виявлено, що наразі бракує методів та технологій, які були б простими у викорис-

танні (*Rossi et al., 2022*) та такими, за якими легко визначати обсяги ЕП як конкретної зеленої зони, так і всієї СЗІ міста. Таким чином, розробка методики оцінки екосистемних послуг по зниженню рівня шуму від дорожнього руху, що може допомогти у прийнятті містопланувальних рішень задля покращення якості довкілля є головною метою даної роботи. Оцінка має базуватись на доступних даних, зокрема відкритих даних дистанційного зондування. Причому варто зосередити увагу саме на стані зелених зон та їх ефективності у виконанні функції по зниженню рівня шуму. Саме це створить об'єктивну картину, щодо обсягів надання послуги. Крім того, нами вбачається за доцільне використовувати дану послугу як одну з тих, що визначатиме загальну цінність міських зелених зон при інтегральній оцінці екосистемних послуг.

Виклад основного матеріалу. При виборі індикаторів у відповідності до яких проводитиметься оцінка ЕП варто зважати на те, що рівні шуму залежать від потужності джерела емісії, тобто рівня шуму на дорозі, відстаней від джерела шуму та особливостей самої зеленої зони.

Перший з названих аспектів – потужність джерела емісії, залежить від структури та інтенсивності транспортного потоку, типу дорожнього покриття тощо. У місті середній рівень шуму на прилеглий до дороги території становить 70 дБ. Відповідно до кількості автомобілів, рівень шуму від руху автотранспорту на дорогах місцевого значення становить 55-65 дБ, на магістральних вулицях – 70-85 дБ (*ДБН В.1.1-31:2013, 2014*). Вплив типу дорожнього покриття на еквівалентні рівні шуму створювані транспортним потоком також є сильним. Так, у (*Шевченко, 2016*) вказується, що при проходженні 1000 авто/год за умови базового дорожнього покриття рівні шуму становлять 77,6 дБ, а за умови, наприклад, наявності бру-

ківки вони зростають до 82,0 дБ. Поверхневий шар зносу дорожнього покриття також викликає зростання до 79,0 дБ.

Відстань від джерела шуму є другим індикатором, оскільки затухання відбувається при віддаленні від джерела шуму, навіть при відсутності шумопоглинальних екранів. За (Решетченко, 2020) було встановлено, що абсолютне зниження еквівалентного рівня шуму тісно корелює ($rS = 0,84$) із відстанню до лінійного джерела шуму. Втім, за (Шевченко, 2016), зниження шуму не перевищує 0,5 дБ для відстані 100 м.

Третім аспектом є власне характеристики самої зеленої зони. Загалом ефективність рослинності у зниженні рівня шуму за даними різноманітних натурних спостережень може коливатися від 6 до 27 дБ, та в середньому зелені зони здатні знижувати шум на 8-15 дБ (Ow & Ghosh, 2017; Решетченко, 2020). Акустичний ефект зниження рівня звуку визначають такі чинники, як ширина смуги, дендрологічний склад, конструкція посадок тощо. Дану групу індикаторів доцільніше розподілити на дві підгрупи: метричні та якісні характеристики зеленої зони, оскільки ефективність шумозахисту зелених зон обумовлена в основному шириною смуг і в значно меншому ступені іншими факторами (конструкція, кількість дерев і рядів, висота, дендрологічний склад тощо).

Метричні характеристики зеленої зони. За (Решетченко, 2020) абсолютне зниження еквівалентного рівня шуму тісно корелює із шириною смуги насаджень ($rS = 0,78$). За даними (Ow & Ghosh, 2017) при 10 м ширині смуги рівень шуму знижується на 3-4 дБ, що є порогом її ефективності; в однорядній смузі шириною 10-20 м – на 8 дБ; у дворядних шириною 21-30 – від 8 до 12; бульвар шириною 70 м із рядовою та гуртовою посадкою дерев і чагарників обумовлює зниження шуму на 10-14 дБА. Також визначальною є площа наса-

джень. Так, у (Liu et al., 2023) вказується, що кожен 1% рослинного покриву, поблизу доріг І та II класів може забезпечити зниження шуму на 0,4 дБ та 1,0 дБ відповідно.

Якісні характеристики зеленої зони: щільність посадки (кількість дерев і рядів). Дана характеристика також показує сильну кореляцію із зниженням рівня шуму (Nunho dos Reis et al., 2022). У роботі (Ow & Ghosh, 2017) вказується на 50% зниження рівня дорожнього шуму при збільшенні щільності посадки з мінімальної до помірної. Наприклад, у (Шуплат, 2019) наводяться наступні дані: для щільної і високої посадки біля дороги з інтенсивним рухом рівні шуму складали – 83 дБ, на відстані 8 м від проїжджої частини до стіни живоплоту – 78 дБ, за нею – 69 дБ. Для менш щільної посадки – 79 дБ, 72 дБ, 67 дБ відповідно. Навіть 5 м «сильно лісистій» зони можуть призвести до зниження рівнів шуму приблизно на 30 дБ (Van Renterghem, 2014).

Конструкція посадки – співвідношення деревної, чагарникової та трав'янистої рослинності в посадці визначають шумопоглинальні властивості зеленої зони. Найбільш ефективними шумозахисними властивостями наділені багаторусні змішані посадки з порід з низькоопущеною щільною кроною. При цьому підкроновий простір повинен бути закритим. Добре розвинені чагарникові і деревні породи на ділянці шириною в 30-40 м можуть знижувати рівні шуму на 17-23 дБ, у той час як невеликі сквери і внутрішньо кварталні посадки з рідкою деревною рослинністю – на 4-7 дБ (Використання Технологій., 2023; Денисюк, 2021). Зокрема у (Решетченко, 2020) розраховано внесок смуг чагарникового ярусу. Він становив 3,5 дБ, крім того зазначалось, що щільна крона чагарників, навіть після завершення вегетації, зберігає шумозахисні властивості.

Дендрологічний склад. На сьогодні вста-

новлено, що вплив на зниження рівня шуму мають такі характеристики рослинності, як пористість, індекс площі листя, співвідношення порід тощо (Xing, & Brimblecombe, 2020). Втім такі індикатори доцільно використовувати при локальних натурних спостереженнях. Для нашого дослідження цінною є інформація про те, що хвойні дерева є ефективнішими у зниженні рівня шуму ніж листяні завдяки їх формі та мінімальній втраті листяного покриву взимку (Шевченко, 2016; Денисюк, 2021). Хвойні дерева при тих же параметрах смуг (ширина 10 м) в середньому знижують рівень шуму на 6-7 дБ, в той час як листяні на 4-5 дБ (Використання Технологій., 2023; Шевченко, 2016). На ділянці лісу з сосни звичайної були

роги, на відстані 60 м шум знизився до 60 дБ.

Зважаючи на багатоманіття індикаторів, але подібність даних характеристик у типових для міст зелених насаджень, у роботі (Решетченко, 2020), міські зелені насадження було об'єднано у 4 групи за класифікувальною ознакою «тип насаджень»: насадження відсутні, лісопарк, парк, інші насадження (вуличні та внутрішньо-квартальні). У даному дослідженні вказується, що у насадженнях лісопаркової зони на відстанях від 10 м до 100 м відбувається зниження шуму на 15-34 %, у парках – на 10-28 %, у насадження інших типів – на 6-25%.

На основі розглянутих вище робіт, значення зниження рівнів шуму зведено у табл.1.

Таблиця 1. Зниження рівня шуму, обумовлене характеристиками зеленої зони.

Тип насаджень	Ширина (м)			
	10	20	50	100
	Зниження рівнів шуму у %			
Смуга (листяна деревна рослинність)	5-6	6-10	10-12	
Лісопарк (листяна деревна рослинність)	15	22	28	34
Лісопарк (хвойна деревна рослинність)	21	28	32	40
Парк	10	19	25	28
Інші типи насаджень (вуличні насадження)	6	12	14	25
Газон	5	11	13	22

зафіксовані наступні показники: 79 дБ поблизу автошляху, а на відстані 60 м – 55 дБ, таким чином зменшення шуму склало 24 дБ (Денисюк, 2021).

У наукових працях важливе значення надається шумопоглинальній здатності газонів та вертикального озеленення. Трав'яний покрив здатний знизити звук на 5-7 дБ. Наприклад у дослідженні (Van Renterghem et al., 2015) вказано, що рівень звуку зменшується зі збільшенням відстані від дороги навіть на ділянці, вкритій лише трав'яною рослинністю. Так, становлячи 78 дБ на відстані 0 м від до-

Методика оцінки обсягів ЕП зі зниження рівня шуму від дорожнього руху базується на визначенні того, наскільки ефективною щодо виконання шумознижуючої функції є та чи інша зелена зона та технологічно полягає у створенні бази даних (БД) про формування шумового забруднення від автошляхів та рівнів його зниження наявною зеленою інфраструктурою міст. Тому відповідність названим вище індикаторам і стане розрахунковими параметрами, що будуть занесені у якості атрибутивної інформації до бази даних, за якими і відбуватиметься оцінка обсягів надання ЕП,

зважаючи на сьогоденний стан зелених зон та рівні шумового забруднення від автошляхів.

Тож матеріалами для проведення дослідження стали відкриті картографічні дані про: зелені зони та автошляхи, які було вилучені з бази даних OpenStreetMap (*OpenStreetMap, 2022*); рослинність території дослідження та її перерозподіл в межах зелених зон, що було вилучено з продукту ESA WorldCover за 2020 рік з роздільною здатністю 10 м на основі даних Sentinel-1 і Sentinel-2 (*Zanaga et al., 2021*) та Copernicus Land Cover, колекція 3, епоха 2019 року, з просторовою роздільною здатністю 100 м (*Buchhorn et al., 2020*).

Алгоритм оцінки обсягів надання ЕП полягав у послідовному виконанні наступних завдань.

1. Встановити первинне поле шумового забруднення від автошляхів з різною інтенсивністю транспортного потоку.

Тому першочерговим завданням, що було реалізовано стало формування БД про зелені зони. У БД було створено низку тематичних шарів: «Зелені зони», «Рослинний покрив», «Джерела емісії».

Оскільки кожна зелена зона знаходиться поблизу різних за потужністю автошляхів, то відповідно, зазнає різного за силою антропогенного тиску. Так, навіть за умови ефективного функціонування, зелена зона може бути неспроможною знизити рівень шуму до безпечного і навпаки, якщо початкове шумове навантаження незначне, то навіть за «слабкої» ефективності зелена зона знижуватиме рівень шуму до прийняттого (безпечного). Відповідно, виконання першого із поставлених завдань полягає у тому, щоб визначити початковий рівень шуму, який надходить від кожного автошляху. Для цього дорогам різних класів було присвоєно значення з (табл. 2) та додано в

Таблиця 2. Середні рівні шуму відповідно до категорії доріг, як показник потужності джерела емісії (на основі *Шевченко, 2016, Решетченко, 2020, ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013, 2014*)

Категорія автошляху	Кількість авто/год	$P_{emission}$: діапазон та (середні значення)
Житлові вулиці (зовнішньоквартальні)	500-1000	70-72 (71)
Магістральні вулиці та дороги загальноміського та районного значення регульованого руху	1000-2000	73-83 (78)
Магістральні вулиці та дороги загальноміського та районного значення безперервного руху	Більше 2000	80-85 (82,5)

2. Визначити ефективність виконання функції по зниженню шумового забруднення від автошляхів, що виконують зелені зони залежно від їх актуального стану.

3. Перевести значення ефективності виконання функції у обсяги екосистемної послуги зі зниження рівнів шуму.

4. Обрахувати обсяги екосистемної послуги.

якості атрибуту « $P_{emission}$ » до тематичного шару «Джерела емісії». Дана вихідна інформація, характеризуватиме потужність джерела емісії.

Також потрібно було врахувати і відстань, на якій розташована зелена зона від джерела шуму. Адже, як зазначено вище, початковий рівень шуму зменшується на відстані навіть при відсутності шумопоглинальних екранів. Тому до БД було додано відповідний

атрибут – відстань від автошляху (D). Таким чином врахувавши обидва із розрахункових параметрів, на основі оверлейних операцій із шарами «Зелені зони» та «Джерела емісії» стає можливим виконати перше завдання – змоделювати початковий рівень шуму ($Cont_noise$) (1), який створюються на межі зеленої зони. Даний показник і відображатиме ті умови в яких власне зелена зона і виконує свою функцію по шумозниженню.

$$Cont_noise = P_{emission} - 0,005 * D \quad (1)$$

де $Cont_noise$ (дБ) – шумове забруднення, на межі зеленої зони, $P_{emission}$ (дБ) – шум, що надходить від автошляху, D – відстань від автошляху (м).

Виконання другого завдання – визначення ефективності зелених зон, базується на

– *по-друге*, на основі (Zanaga et al., 2021) та (Buchhorn et al., 2020) було визначено тип рослинності та створено відповідний атрибут у шарі «Рослинний покрив». Дана типізація відбувалась із детальністю, на яку наразі можна розраховувати за відкритими даними (деревна (хвойна, мішана, листяна), чагарникова, трав'яна рослинність тощо) (Korohoda et al., 2022);

– *по-третє*, через оверлейні операції було передано у шар «Зелені зони» інформацію про тип рослинності з шару «Рослинний покрив» та встановлено у кожному виділі розрахунковий параметр – коефіцієнт зниження рівня шуму ($I_{noise_reduction}$), що визначає здатність рослинності до шумопоглинання на основі даних табл.1 (табл. 3.)

– *по-четверте*, було обраховано частку площі, що займає той чи інший тип рослин-

Таблиця 3. Коефіцієнт зниження рівня шуму, обумовлений типом рослинності

Тип насаджень	Ширина (м)			
	10	20	50	100
	$I_{noise_reduction}$			
Смуга (листяна деревна рослинність)	0,955	0,92	0,89	
Лісопарк (листяна деревна рослинність)	0,85	0,78	0,72	0,66
Лісопарк (хвойна деревна рослинність)	0,79	0,72	0,68	0,6
Парк	0,9	0,81	0,75	0,72
Інші типи насаджень (вуличні насадження)	0,94	0,88	0,86	0,75
Газон	0,95	0,89	0,87	0,78

тому, що стан самої зеленої зони зумовлює неоднакові можливості різних зелених зон щодо зниження шуму. Таким чином необхідним стало визначення характеристик зеленої зони, що впливають на її здатність до шумозниження. Дану процедуру було проведено на основі даних дистанційного зондування:

– *по-перше*, на основі (OpenStreetMap, 2022) було визначено типи зелених зон (6 типів (відповідно до табл.1.);

ності у зеленій зоні;

– *по-н'яте*, для кожної зеленої зони було визначено середньозважений за площами коефіцієнт зниження рівня шуму ($I_{noise_reduction(g_a)}$) (2), що й відображає її потенціал у виконанні даної функції. Таким чином при реалізації даного завдання були враховані всі характеристики зеленої зони (метричні та якісні), що обумовлюють її потенціал у зниженні рівня шуму.

$$I_{noise_reduction(g_a)} = \sum I_{noise_reduction(i)} * P_i \quad (2)$$

де $I_{noise_reduction(g_a)}$ – коефіцієнт зниження рівня шуму в зеленій зоні, $I_{noise_reduction(i)}$ – коефіцієнт зниження рівня шуму i -того типу рослинності, P_i – частка площі i -го типу рослинності у зеленій зоні

Показник $I_{noise_reduction(g_a)}$ дозволяє визначити «залишковий» рівень шуму в зеленій зоні ($Noise$). Його варто розраховувати за (3) як добуток початкового рівня шуму і коефіцієнта зниження його рівня.

$$Noise = Cont_noise * I_{noise_reduction(g_a)} \quad (3),$$

де, $Noise$ (дБ) – «залишковий» рівень шуму в зеленій зоні, $Cont_noise$ (дБ) – шумове забруднення, на межі зеленої зони, $I_{noise_reduction(g_a)}$ – коефіцієнт зниження рівня шуму в зеленій зоні.

Ефективність у виконанні функції варто розраховувати так, щоб стало можливим відобразити через неї обсяги ЕП. Для цього потрібно зважати на силу антропогенного навантаження та потенціал зеленої зони у його зниженні. Ці два аспекти повністю описують сторону пропозиції ЕП. Сторону ж попиту треба враховувати, зважаючи на рівні шуму, що не створюють додаткових ризиків для здоров'я містян. Оскільки ефективність має відбивати, наскільки безпечним є перебування у зеленій зоні, для її об'єктивного розрахунку, варто враховувати три змінні: силу антропогенного навантаження, потенціал зеленої зони у зниженні рівнів шуму та санітарні норми, що визначають безпечне середовище для людини.

Санітарно-гігієнічні вимоги до житлової забудови визначають необхідність захисту населення від шкідливого впливу міського шуму. Відповідно встановлюються допустимі рівні звуку для території житлових мікрорайонів – 45 дБ в нічний час, та 55 дБ в денний (ДБН В.1.1-31:2013, 2014). Тому ефективність

($E_{noise_reduction}$) доцільно визначати як різницю між «залишковим» рівнем шуму в зеленій зоні та санітарними нормами (4).

$$E_{noise_reduction} = Noise - 55 \quad (4),$$

де, $E_{noise_reduction}$ (дБ) – ефективність зеленої зони у зниженні рівнів шуму, $Noise$ (дБ) – «залишковий» рівень шуму в зеленій зоні.

Зрозуміло, що зелена зона з високим потенціалом та низькими рівнями антропогенного тиску здатна знизити шум до нижчих, за визначені стандартом 55 дБ, тобто значення $E_{noise_reduction}$ буде від'ємним, тому, на виконання третього завдання, потрібно перевести значення $E_{noise_reduction}$ у обсяги ЕП зі зниження рівнів шуму ($ES_{noise_reduction}$). Для цього ми скористалися процедурою нормування показників ефективності на основі функції бажаності Харрінгтона (Korohoda et al., 2022). Особливість даної роботи у тому, що ми скористалися спадною функцією, у якій при зниженні показника за функцією бажаності Харрінгтона, якість об'єкта зростає, тобто за 0 – правлять найкращі характеристики зеленої зони (максимальні обсяги послуги), а за 1 – найгірші. Нормування розрахункових показників відбувається на основі того, що всі невід'ємні виміряні значення діляться на 5 діапазонів (табл.4). Таким чином, всі зелені зони зважаючи на їхній стан та рівні антропогенного навантаження, які здатні знижувати рівні початкового шуму хоча б до безпечних або близьких до таких рівнів надаватимуть послуги в максимальних обсягах (зрозуміло, що всі зелені зони, зі значеннями $E_{noise_reduction} < 0$ варто також віднести до тих, що надають максимальні обсяги ЕП).

Таким чином, на основі показників ефективності виконання функції по зниженню рівнів шуму ($E_{noise_reduction}$) та функції бажаності Харрінгтона (табл.4), стало можливим визначити обсяги надання ЕП зі зниження рівня

шуму від дорожнього руху, що і є необхідним у реалізації методики як виконання четвертого завдання.

Висновки. У роботі було визначено, що провідними факторами, які обумовлюють відмінності в показниках ЕП зі зниження рівня шуму від автошляхів у зелених зонах є потужність джерела емісії а також метричні та якісні характеристики зеленої зони. Їх врахування

реалізувати методику оцінювання. У ході роботи на основі оверлейних операцій в процесі ГІС-моделювання, було кількісно визначено: характеристики первинного поля забруднення від автошляхів ($Cont_{noise}$), залишковий рівень шуму в зеленій зоні ($Noise$) та ефективність виконання функції по зниженню шумового забруднення від автошляхів ($E_{noise_reduction}$). Показники ефективності, на основі функції

Таблиця 4. Обсяги екосистемних послуг по зниженню рівнів шуму від дорожнього руху

Ефективність зеленої зони у зниженні рівнів шуму ($E_{noise_reduction}$)	Діапазон значень відносно до шкали бажаності Харрінгтона	Обсяг послуги $ES_{noise_reduction}$
[0-6)	[0-20)	Максимальні
[6-11,1)	[20-37)	Вище середніх
[11,1-18,9)	[37 -63)	Середні
[18,9-24)	[63-80)	Нижче середніх
[24 -30]	[80-100]	Мінімальні

під час оцінки дозволяє з одного боку встановити природні та антропогенні умови, в яких функціонують зелені зони, з іншого – оцінити ефективність виконання функції. «Найбільш ефективними» вважаються такі зелені зони, які здатні знижувати шум до безпечних або близьких до таких рівнів.

У роботі відповідно до мети, було розроблено методику оцінки екосистемних послуг по зниженню рівня шуму від дорожнього руху, що оснований на визначенні ефективності виконання відповідної функції. Адекватно до провідних індикаторів, в роботі було сформовано БД. Тематичними шарами стали шари «Зелені зони», «Рослинний покрив», «Джерела емісії». Вхідними розрахунковими показниками, що увійшли до БД у якості атрибутивної інформації стали середні рівні шуму відповідно до категорії доріг ($P_{emission}$), відстань від автошляхів (D) та коефіцієнт зниження рівня шуму ($I_{noise_reduction}$). Дані параметри дозволили

бажаності Харрінгтона, дозволили обрахувати обсяги надання ЕП зі зниження автомагістрального шуму ($ES_{noise_reduction}$). Для цього було використано спадну функцію бажаності Харрінгтона. За таким алгоритмом, всі зелені зони зважаючи на їхній стан та рівні антропогенного навантаження, які здатні знижувати початкові рівні шуму до безпечних або близьких до них показників надають ЕП в максимальних обсягах. До таких же потрібно відносити й ті зелені зони, що отримали від'ємні значення показника ($E_{noise_reduction}$), тобто знижують шумове забруднення до рівнів, нижчих, ніж визначено санітарними нормами.

Оцінка, що відбувається за такою методикою може стати корисним інструментом у прийнятті містопланувальних рішень, адже дозволяє ідентифікувати зелені зони, що потребують першочергових дій для покращення їхніх можливостей у зниженні шуму від автошляхів.

Фінансування. Дане дослідження проводилось в рамках проекту «Технологія геоінформаційного оцінювання надання екосистемних послуг міськими зеленими зонами», що фінансується за рахунок зовнішнього ін-

струменту допомоги Європейського Союзу для виконання зобов'язань України у Рамковій програмі Європейського Союзу з наукових досліджень та інновацій «Горизонт 2020».

Список використаних джерел

- Використання технологій озеленення з метою зниження шумового забруднення міських територій. (2023), 37 с. https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_vcheniy_secretar.pdf
- ДБН В.1.1-31:2013. (2014). Захист територій, будинків і споруд від шуму. Київ, 54 с.
- Денисюк, Н. (2021). Середовищевірна ефективність зелених насаджень загального користування міста Рівне. Дис. ... к. б. н. Рівненський державний гуманітарний університет, Інститут екології Карпат НАН України, Львів.
- ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013. (2014). Національний стандарт України. Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій. Київ, Мінрегіон України, 42с.
- Міронова, Н. Г., Морозов, А. В., Морозова, Т. В., та Рибак, В. В. (2021). Дослідження акустичного навантаження від транспортного потоку на прикладі міста Хмельницького. Дороги і мости, 24, 193–205. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.24.193>
- Решетченко, А. (2018). Дослідження впливу автотранспортних потоків на акустичне середовище урболандшафтів. Комунальне господарство міст, 7 (146), 180-183. DOI: 10.33042/2522-1809-2018-7-146-180-183
- Решетченко, А. (2020). Підвищення екологічної безпеки урбосистем при техногенному навантаженні від шумового забруднення. Дис. ... к. т. н. Сумський державний університет, Суми.
- Розробка шумозахисних заходів для автомобільних доріг Дніпровського району Дніпропетровської області. (2020). 26с. https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_vcheniy_secretar.pdf
- Шевченко, Ю. (2016). Розробка моделей оцінки та підвищення ефективності зниження шуму транспортних потоків. Дис. ... к. т. н. Національний авіаційний університет, Київ, 2016.
- Шуплат, Т. (2019). Життєвість та урбоекологічна роль кущових ялівців у покращенні стану довкілля міста Львів. Дис. ... к. с/г. н. Національний лісотехнічний університет України, Львів.
- Buchhorn, M., Smets, B., Bertels, L., De Roo, B., Lesiv, M., Tsendbazar, N-E., Herold, M., & Fritz S. (2020). Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: collection 3: epoch 2019: Globe (V3.0.1) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3939050>
- Gratani, L., Varone, L. (2013). Carbon sequestration and noise attenuation provided by hedges in Rome: the contribution of hedge traits in decreasing pollution levels. Atmospheric Pollution Research, 4 (3), 315-322. <https://doi.org/10.5094/APR.2013.035>.
- Korohoda, N., Halahan, O., & Kovtoniuk, O. (2022, November). The use of GIS and Remote Sensing Data in Determining the Condition of Green Areas in Kyiv. In 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment (Vol. 2022, No. 1, pp. 1–5). EAGE Publications BV. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580056>
- Liu, L., Han, B., Tan, D., Wu, D., & Shu, C. (2023). The Value of Ecosystem Traffic Noise Reduction

- Service Provided by Urban Green Belts: A Case Study of Shenzhen. *Land*, 12(4), 786. <http://dx.doi.org/10.3390/land12040786>
- Nunho dos Reis, A. R., Biondi, D., Dias de Oliveira, J. (2022). The role of urban green areas in noise pollution attenuation. *DYNA*, 89 (220), 210–215. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n220.95822>
- OpenStreetMap contributors, www.openstreetmap.org. 2022
- Ow, L. F., Ghosh, S. (2017). Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation. *Applied Acoustics*, 120, 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.007>.
- Rossi, L., Menconi, M.E., Grohmann, D., Brunori, A., Nowak, D.J. (2022). Urban Planning Insights from Tree Inventories and Their Regulating Ecosystem Services Assessment. *Sustainability*, 14(3), 1684. [doi:10.3390/su14031684](https://doi.org/10.3390/su14031684)
- Samara, T., Tsitsoni, T. (2011). The effects of vegetation on reducing traffic noise from a city ring road. *Noise Control Engineering Journal*, 59, 68-74. DOI: 10.3397/1.3528970
- Van Renterghem, T., Forssén, J., Attenborough, K., Jean, P., Defrance, J., Hornikx, M., Kang, J. (2015). Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors. *Applied Acoustics*, 92, 86-101. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.01.004>.
- Van Renterghem, T. (2014). Guidelines for optimizing road traffic noise shielding by non-deep tree belts. *Ecological Engineering*, 69, 276-286. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.04.029>.
- Xing, Y. & Brimblecombe, P. (2020). Traffic-derived noise, air pollution and urban park design. *Journal of Urban Design*, 25:5, 590-606. DOI: 10.1080/13574809.2020.1720503
- Zanaga, D., Van De Kerchove, R., De Keersmaecker, W., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R., Wevers, J., Grosu, A., Paccini, A., Vergnaud, S., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Georgieva, I., Lesiv, M., Carter, S., Herold, M., Li, Linlin, Tsendbazar, N.E., Ramoino, F., Arino, O. (2021). *ESA WorldCover 10 m 2020 v100*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936>

References

- Use of greening technologies to reduce noise pollution in urban areas. (2023). 37 p. https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_vcheniy_secretar.pdf [in Ukrainian].
- DBN V.1.1-31:2013. (2014). Protection of territories, buildings and structures from noise. 54 p. [in Ukrainian].
- Denysyuk, N. (2021). Environment-forming efficiency of greenery of common use in Rivne. Thesis for a candidate of biological sciences. Rivne State University for the Humanities, Institute of Ecology of the Carpathians the National Academy of Sciences of Ukraine. Dys. ... k. b. n. [in Ukrainian].
- DSTU-N B V.1.1-33:2013. (2014). Manual for calculating and designing of noise protection of residential area. 42 p. [in Ukrainian].
- Mironova, N., Morozov, A., Morozova, T., & Rybak, V. (2021). Investigation of acoustic load from traffic flow on the example of the city of Khmelnytsky. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*, 24, 193-205. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2021.24.193> [in Ukrainian].
- Reshetchenko, A. (2018). Duration of elementary events in the structure of noise of road motion of the great city. *Komunalne hospodarstvo mist [Urban municipal services]*, 7 (146), 180-183. DOI: 10.33042/2522-1809-2018-7-146-180-183 [in Ukrainian].
- Reshetchenko, A. (2020). Improvement of the environmental safety of urban systems under man-caused impact from noise pollution. Thesis for the degree of candidate of Engineering Sciences. Sumy State University Dys. ... k. t. n. [in Ukrainian].
- Development of noise protection measures for motorways in Dniprovskiy district of Dnipropetrovska oblast. (2020). 26 p. https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_vcheniy_secretar.pdf [in Ukrainian].
- Shevchenko, Yu. (2016). Development of evaluation models and improvement of the efficiency of traf-

- fic flow noise reduction. Thesis for a candidate of technical sciences. National Aviation University Dys. ... k. t. n. [in Ukrainian].
- Shuplat T. (2019). Viability and Urbo-ecological role of shrubbery for improving the environment of the city of Lviv. Thesis for a candidate of agricultural sciences. Lviv National Agrarian University. Dys. ... k. s/h. n. [in Ukrainian].
- Buchhorn, M., Smets, B., Bertels, L., De Roo, B., Lesiv, M., Tsendbazar, N-E., Herold, M., & Fritz S. (2020). Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: collection 3: epoch 2019: Globe (V3.0.1) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3939050>
- Gratani, L., & Varone, L. (2013). Carbon sequestration and noise attenuation provided by hedges in Rome: the contribution of hedge traits in decreasing pollution levels. *Atmospheric Pollution Research*, 4 (3), 315-322. <https://doi.org/10.5094/APR.2013.035>.
- Korohoda, N., Halahan, O., & Kovtoniuk, O. (2022, November). The use of GIS and Remote Sensing Data in Determining the Condition of Green Areas in Kyiv. In 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2022 1. 1-5). EAGE Publications BV. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580056>
- Liu, L., Han, B., Tan, D., Wu, D., & Shu, C. (2023). The Value of Ecosystem Traffic Noise Reduction Service Provided by Urban Green Belts: A Case Study of Shenzhen. *Land*, 12(4), 786. <http://dx.doi.org/10.3390/land12040786>
- Nunho dos Reis, A. R., Biondi, D., & Dias de Oliveira, J. (2022). The role of urban green areas in noise pollution attenuation. *DYNA*, 89 (220), 210-215. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n220.95822>
- OpenStreetMap contributors, www.openstreetmap.org. 2022
- Ow, L. F., & Ghosh, S. (2017). Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation. *Applied Acoustics*, 120, 15-20. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.007>.
- Rossi, L., Menconi, M.E., Grohmann, D., Brunori, A., & Nowak, D.J. (2022). Urban Planning Insights from Tree Inventories and Their Regulating Ecosystem Services Assessment. *Sustainability*, 14(3), 1684. doi:10.3390/su14031684
- Samara, T., & Tsitsoni, T. (2011). The effects of vegetation on reducing traffic noise from a city ring road. *Noise Control Engineering Journal*, 59, 68-74. DOI: 10.3397/1.3528970
- Van Renterghem, T., Forssén, J., Attenborough, K., Jean, P., Defrance, J., Hornikx, M., & Kang, J. (2015). Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors. *Applied Acoustics*, 92, 86-101. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.01.004>.
- Van Renterghem, T. (2014). Guidelines for optimizing road traffic noise shielding by non-deep tree belts. *Ecological Engineering*, 69, 276-286. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.04.029>.
- Xing, Y. & Brimblecombe, P. (2020). Traffic-derived noise, air pollution and urban park design. *Journal of Urban Design*, 25:5, 590-606. DOI: 10.1080/13574809.2020.1720503
- Zanaga, D., Van De Kerchove, R., De Keersmaecker, W., Souverijns, N., Brockmann, C., Quast, R., Wevers, J., Grosu, A., Paccini, A., Vergnaud, S., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Georgieva, I., Lesiv, M., Carter, S., Herold, M., Li, Linlin, Tsendbazar, N.E., Ramoino, F., & Arino, O. (2021). ESA WorldCover 10 m 2020 v100. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936>

Статтю надіслано до редколегії 17.04.2023 р.