

УДК 630*2:631.164:574.4(477-25)

І. А. Опенько,

д. е. н., доцент, професор кафедри геодезії та картографії,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2810-0778>

О. М. Цвях,

к. е. н., доцент, доцент кафедри земельного кадастру,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9284-2966>

В. П. Подлегаєв,

аспірант кафедри земельного кадастру,

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-4164-5091>

DOI: 10.32702/2306-6792.2025.17.48

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕКОСИСТЕМНИХ ФУНКЦІЙ МІСЬКИХ ЛІСІВ КИЄВА

I. Openko,

Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Geodesy and Cartography, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

O. Tsvyakh,

PhD in Economics, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Land Cadastre, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

V. Podliegaev,

Postgraduate student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

ECONOMIC ASSESSMENT OF THE ECOSYSTEM FUNCTIONS OF URBAN FORESTS IN KYIV

У статті проведено економічну оцінку екосистемних функцій міських лісів Києва з акцентом на їх вуглецедепонувальну здатність та значну роль у очищенні атмосферного повітря. Для оцінки депонування вуглецю міськими лісами використано дані платформи Global Forest Watch, що дозволили визначити щорічне чисте поглинання CO₂ у межах адміністративних районів міста: Голосіївський — 49,5 тис. т, Деснянський — 49,3 тис. т, Дарницький — 46,31 тис. т, Святошинський — 41,39 тис. т. Загальний обсяг депонованого вуглецю лісовими ресурсами міста за період 2001-2024 років перевищує 4,2 млн т, що формує значний потенціал міських лісів у зменшенні обсягу вуглецю в місті. Економічна оцінка депонування CO₂ міськими лісами Києва, з урахуванням ринкової ціни 71,3 євро/т, складає близько 18,5 млн євро на рік, найбільший внесок роблять лісові ресурси в межах Голосіївського (3,53 млн євро), Деснянського (3,52 млн євро) та Дарницького (3,3 млн євро) районів. Економічна оцінка очищення повітря від шкідливих речовин (NO₂, O₃, PM_{2,5}, PM₁₀, SO₂) та інтегрального коефіцієнта поглинання 139,48 кг/га/рік показала, що лісові масиви Києва можуть потенційно вилучати близько 2648,56 т забруднень щорічно, генеруючи при цьому економічний ефект у 192,13 млн євро. Отримані результати дослідження підкреслюють значний екологічний та економічний потенціал міських лісів і необхідність їх стратегічного планування та розвитку у контексті сталого урбанізованого середовища.

This study investigates the ecological and economic value of urban forests in Kyiv, with a particular focus on their carbon sequestration capacity and contribution to air quality improvement. Using data from the Global Forest Watch platform, the annual net carbon sequestration by district-level forested areas was quantified. The results indicate that Holosiivskiy District sequesters approximately 49.5 thousand tons of CO₂ per year, Desnianskyi — 49.3 thousand tons, Darnytskyi — 46.31 thousand tons, and Sviatoshynskiy — 41.39 thousand tons. The total cumulative carbon deposited from 2001 to 2024 exceeds 4.2 million tons, highlighting the substantial role of Kyiv's urban forests in reducing the city's carbon footprint. Economic evaluation of carbon deposition, using the EU ETS carbon price of 71.3 euros per ton, estimates an annual economic benefit of about 18.5 million euros, with the highest contributions from Holosiivskiy (3.53 million euros), Desnianskyi (3.52 million euros), and Darnytskyi (3.3 million euros) districts. The study further assessed air

purification services by forests, considering the uptake of pollutants such as NO_2 , O_3 , $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} and SO_2 . Based on the i-Tree Eco methodology and an integral absorption coefficient of 139.48 kg/ha/year, Kyiv's forested areas annually remove approximately 2,648.56 tons of pollutants, yielding an estimated economic value of 192.13 million euros. District-level analysis revealed significant disparities: for example, Shchevchenkivskiyi, Solomianskiyi, and Pecherskiyi districts, with forest cover ranging from 456.5 to 498.3 hectares, provide the lowest purification benefits (4.62—5.04 million euros/year), whereas Sviatoshynskiyi, Holosiivskiyi, and Desnianskiyi, with extensive forest areas of 5,726.2, 3,651.1, and 2,856.9 hectares, generate the highest economic effects (57.94, 36.94, and 28.91 million euros/year, respectively). These findings underscore the dual ecological and economic functions of urban forests as natural carbon sinks and air quality regulators. The results also highlight the uneven spatial distribution of forest ecosystem services, emphasizing the need for strategic planning and targeted investments to enhance forest cover in less-forested urban districts. Overall, the study provides a comprehensive quantitative assessment of the contribution of Kyiv's urban forests to climate change mitigation and environmental quality improvement, offering valuable data to support urban ecological planning, policy development, and sustainable management of green infrastructure.

Ключові слова: економічна оцінка, міські ліси, лісові ресурси, урбанізована територія, екологічна інфраструктура, екосистемні функції, економічний ефект.

Key words: economic assessment, urban forests, forest resources, urbanised areas, ecological infrastructure, ecosystem functions, economic impact.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

У сучасних умовах інтенсивної урбанізації та зростання антропогенного навантаження на довкілля, лісові ресурси міста Києва відіграють надзвичайно важливу еколого-економічну роль, формуючи природний каркас урбанізованої території столиці. Вони виконують ключові екосистемні функції депонування вуглецю, очищення повітря, регуляцію мікроклімату, рекреаційне забезпечення, які формують основу екологічної інфраструктури столиці. Водночас їхня економічна оцінка залишається недостатньо дослідженою, що ускладнює прийняття ефективних управлінських рішень у сфері сталого використання та відтворення міських лісів [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10].

З огляду на сучасні виклики, пов'язані зі зміною клімату, деградацією довкілля та потребою у підвищенні якості рівня життя міського населення, економічна оцінка екосистемних функцій міських лісів стає важливим науковим і практичним завданням. Визначення економічного ефекту від функціонування лісових ресурсів на урбанізованій території Києва дає можливість інтегрувати їх у систему міського планування, підвищити інвестиційну привабливість екологічної інфраструктури та обґрунтувати доцільність фінансування природоохоронних заходів. Це створює підґрунтя для формування ефективної моделі управління міськими лісами з урахуванням їхньої економічної цінності.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У своєму монографічному дослідженні екосистемних функцій та біопродуктивності лісових фітоценозів урбанізованого середовища на прикладі міста Києва, вчені М. О. Лакида [9], Р. Д. Васишин [9], І. Д. Лакида [9], О. М. Мельник [9] здійснили комплексну оцінку потенціалу рослинної біомаси міських лісів Києва, акцентуючи увагу на інтенсивності їхньої біопродуктивності. У межах дослідження було детально проаналізовано кількісні показники основних екосистемних функцій, таких як здатність депонуванню вуглецю, киснепродукційна активність і енергетична ефективність. Робота науковців підкреслює важливість лісових ресурсів в умовах урбанізованого середовища у регулюванні вуглецевого балансу, збереженні екологічної рівноваги та забезпеченні енергетичних потреб через їхню біомасу. Отримані результати є цінним внеском у розуміння ролі міських лісів у підтриманні сталого розвитку та їхнього значення для екологічного стану урбанізованих територій [9].

Результати цих та інших досліджень мають важливе практичне значення та будуть враховані нами для проведення економічної оцінки використання лісових ресурсів в умовах урбанізованого середовища. На їх основі виникає можливість розробити методологічні підходи до визначення економічної цінності екосистемних функцій, які надають міські ліси, а також оцінити їхній внесок у сталий розвиток міських територій. Це дозволить створити ефективну систему управління лісовими ресурсами, спря-

мовану на максимізацію їхнього екологічного, соціального та економічного потенціалу.

МЕТА СТАТТІ

Мета статті — здійснити економічну оцінку екосистемних функцій міських лісів Києва, зокрема їх ролі у депонуванні вуглецю та поліпшенні якості атмосферного повітря, для обґрунтування їх значення як важливого елемента екологічної інфраструктури у сталому розвитку міста.

Основні завдання дослідження включають:

- оцінити обсяги депонування вуглецю та очищення повітря міськими лісами Києва;
- провести економічну оцінку відповідних екосистемних функцій міських лісів Києва.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

У ході дослідження серед широкого спектра екосистемних функцій міських лісів Києва основну увагу було зосереджено на їх вуглецедепонувальній здатності та ролі у поліпшенні якості атмосферного повітря, що зумовлено високою актуальністю цих показників для економічної оцінки екосистемних послуг у контексті урбанізованого середовища та сталого розвитку міста.

Для оцінки вуглецедепонувальної здатності та ролі міських лісів Києва при очищенні повітря нами було використано аналітичні дані платформи Global Forest Watch, що забезпечує доступ до глобальних показників стану лісових екосистем, зокрема лісовкритої площі в розрізі районів міста Києва, обсягів депонованого вуглецю і дозволяє здійснити об'єктивну та порівняльну оцінку їх внеску у зменшення викидів парникових газів [11].

Методика оцінки поглинання вуглецю лісовими екосистемами за даними Global Forest Watch базується на геопросторовому моделюванні, яке враховує сукупне вилучення CO_2 деревною рослинністю в межах лісових масивів з 2001 по 2024 рік. Основою розрахунку є супутникові дані з роздільною здатністю 30 м, що охоплюють глобальну територію та дають змогу визначити тип, вік та екозону лісу для кожного пікселя. Модель оцінює обсяг вуглецю, накопиченого в надземній і підземній біомасі дерев внаслідок природного приросту лісів або їх відновлення [11, 12, 13].

Цей підхід дозволяє оцінити загальне вилучення вуглецю в межах визначених адміністративних або природних одиниць, зокрема районів міста. Отримані дані враховують лише ті ділянки, які класифікуються як ліси (щільність

$>30\%$, висота >5 м), що забезпечує точність і співставність результатів у різних екосистемах. Поглинання CO_2 не враховує змін, пов'язаних з вирубками, деградацією чи переміщенням деревної біомаси до господарського використання, тому результати репрезентують лише природне вилучення вуглецю з атмосфери. Такий підхід дозволяє створити достовірну оцінку ролі лісових ресурсів у формуванні вуглецевого балансу території, зокрема для екологічного планування та адаптації до змін клімату [11, 12, 13].

Відповідно до окресленої методики найбільші показники чистого щорічного поглинання вуглецю демонструють райони з великою площею лісових масивів, зокрема Голосіївський (49,5 тис. тонн CO_2 /рік), Деснянський (49,3 тис. тонн CO_2 /рік), Дарницький (46,31 тис. тонн CO_2 /рік) і Святошинський (41,39 тис. тонн CO_2 /рік). Це свідчить про значний потенціал цих територій у зниженні вуглецевого сліду міста та підтриманні екологічної рівноваги. Водночас райони з низьким рівнем лісистості, такі як Печерський, Подільський, Солом'янський і Шевченківський, мають нижчі обсяги поглинання та депонування вуглецю [11, 12, 13] (табл. 1).

Основною причиною викидів вуглецю, пов'язаних із лісовими ресурсами, є втрати лісового покриву — вирубування дерев, заміна природної лісової рослинності на урбанізовані території, розширення забудови, а також лісові пожежі або деградація зелених насаджень. Найбільші обсяги викидів фіксуються в Оболонському (17,5 тис. тонн CO_2 /рік) та Деснянському районах (11,9 тис. тонн CO_2 /рік), що свідчить про значний антропогенний тиск на лісові екосистеми в цих частинах столиці [11, 12, 13] (табл. 1).

Загальний обсяг чистого депонування вуглецю лісовими ресурсами Києва за період 2001—2024 років становить значні величини, що підкреслює виняткову роль міських лісів у стримуванні змін клімату. Найвищі показники спостерігаються у Голосіївському районі — 1138,50 тис. тонн CO_2 , Деснянському — 1133,90 тис. тонн CO_2 , Дарницькому — 1065,13 тис. тонн CO_2 і Святошинському — 951,97 тис. тонн CO_2 . Ці райони мають найбільші площі лісових насаджень, які зосереджені у державних лісових господарствах, лісопаркових зонах та заказників, що позитивно впливають на обсяги поглиненого вуглецю. Їхній сумарний вклад у депонування вуглецю перевищує 4,2 млн тонн CO_2 , що становить понад 80 % загального обсягу накопиченого карбону серед усіх районів міста [11] (рис. 1).

Інші райони мають помітно нижчі обсяги накопичення вуглецю: Оболонський — 791,20 тис. тонн CO₂, Дніпровський — 429,64 тис. тонн CO₂, Подільський — 195,78 тис. тонн CO₂, Шевченківський — 105,36 тис. тонн CO₂, Солом'янський — 96,95 тис. тонн CO₂, а найменший — Печерський район із 57,78 тис. тонн CO₂. Причини таких відмінностей визначається у різному рівені урбанізації, щільність забудови, частка лісових масивів. Зокрема, в центральних районах, таких як Печерський і Шевченківський, переважає історична та сучасна забудова, з мінімальною часткою лісових земель, а лісові насадження представлені переважно скверами, парками й окремими групами дерев, що мають обмежену здатність до довгострокового накопичення вуглецю [9, 11].

Таким чином, отримані результати не лише підтверджують важливу екологічну функцію міських лісів при очищенні повітря, а й вказують на нерівномірність їхнього розподілу та ефективності серед районів столиці. На наш погляд, такі фактори мають враховуватись при формуванні екологічної політики планування, зокрема у питаннях екологічної компенсації, інвестицій у розширення і догляд за лісовими ресурсами саме в тих районах, які мають найнижчі показники.

Наступним етапом нашого дослідження було визначення економічного ефекту від депонованого вуглецю лісовими ресурсами в місті Києві. Алгоритм розрахунку здійснювався на основі кількісних даних про щорічне чисте депонування CO₂ у лісових екосистемах кожного району міста Києва, які були вище представлені і отримані шляхом різниці між показниками щорічного поглинання та викидів вуглецю, пов'язаних із лісовими ресурсами, згідно з аналітикою міжнародної платформи Global Forest Watch за період 2001—2024 років [11, 12, 13].

Також для перерахунку екологічного ефекту в економічні одиниці була застосована ринкова ціна викидів CO₂, відповідно до цінової політики Європейської системи торгівлі викидами (з англ. European Union Emission Trading Scheme — EU ETS). Згідно з даними електронної платформи Торговельної економіки (з англ. Trading Economics), станом на липень 2025 року, середня вартість однієї тонни CO₂ становила 71,30 євро, що є актуальною біржовою ціною за право на викид

Таблиця 1. Обсяги поглинутого вуглецю лісовими ресурсами в розрізі адміністративних районів м. Києва

№	Назва району	Викиди вуглецю пов'язані з лісовими ресурсами	Поглинання вуглецю лісовими ресурсами	Чисте депонування вуглецю лісовими ресурсами
		тис. тонн CO ₂ на рік	тис. тонн CO ₂ на рік	тис. тонн CO ₂ на рік
1	Голосіївський	5,50	55,00	49,50
2	Дарницький	3,89	50,20	46,31
3	Деснянський	11,90	61,20	49,30
4	Дніпровський	2,02	20,70	18,68
5	Оболонський	17,50	51,90	34,40
6	Печерський	0,18	2,69	2,51
7	Подільський	0,55	9,06	8,51
8	Святошинський	8,01	49,40	41,39
9	Солом'янський	0,26	4,47	4,22
10	Шевченківський	0,25	4,83	4,58

Джерело: сформовано авторами за даними Global Forest Watch [11, 12, 13].

1 тонни парникових газів і використовується в рамках екологічного оподаткування та кліматичних угод [14, 15].

Важливо враховувати, що ринкова ціна викидів вуглецю є динамічною і схильною до значних коливань. Наприклад, за даними Рейтер (Reuters) [15], Торговельної економіки (Trading Economics) [14], Ресесарі (Recessary) [16] за період 2023—2024 років ціни на квоти CO₂ згідно Європейської системи торгівлі викидами (EU ETS) коливалися від 71 євро до понад 90 євро за тону CO₂, а в пікові періоди досягали 97 євро/т. У зв'язку з цим, навіть незначне зростання ціни (наприклад, до 90—100 євро/т CO₂)

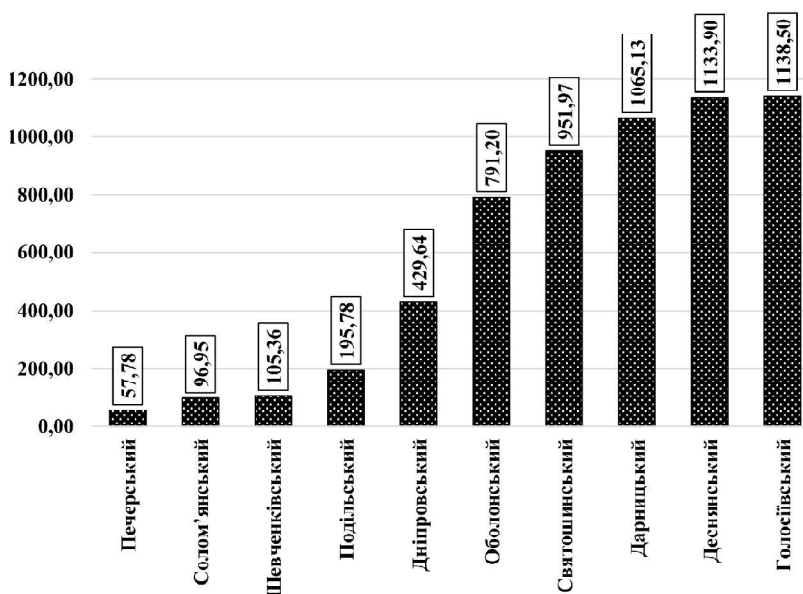


Рис. 1. Орієнтовний обсяг депонованого вуглецю лісовими ресурсами в місті Києві за 2001—2024 роки, тис. тонн CO₂

Джерело: створено авторами за даними Global Forest Watch [11].

Таблиця 2. Розрахунок економічного ефекту від депонування вуглецю лісовими ресурсами в місті Києві

№	Район	Депонування вуглецю лісовими ресурсами, тис. тонн CO ₂ /рік	Економічний ефект, млн євро /рік
1	Голосіївський	49,50	$49500 \times 71,30 \approx 3,53$ млн євро
2	Дарницький	46,31	$46310 \times 71,30 \approx 3,30$ млн євро
3	Деснянський	49,30	$49300 \times 71,30 \approx 3,52$ млн євро
4	Дніпровський	18,68	$18680 \times 71,30 \approx 1,33$ млн євро
5	Оболонський	34,40	$34400 \times 71,30 \approx 2,45$ млн євро
6	Печерський	2,51	$2510 \times 71,30 \approx 0,18$ млн євро
7	Подільський	8,51	$8510 \times 71,30 \approx 0,61$ млн євро
8	Святошинський	41,39	$41390 \times 71,30 \approx 2,95$ млн євро
9	Солом'янський	4,22	$4220 \times 71,30 \approx 0,30$ млн євро
10	Шевченківський	4,58	$4580 \times 71,30 \approx 0,33$ млн євро
Всього			18,50 млн євро

Джерело: розраховано авторами за даними Global Forest Watch [11, 12, 13] та European Union Emission Trading Scheme [14].

може подвоїти або значно збільшити економічний ефект від депонування міськими лісовими ресурсами, що слід враховувати в довгостроковому плануванні екологічної політики міста [14, 15, 16].

У наведених розрахунках в таблиці 2 кожен показник щорічного чистого депонування по районах було помножено на зазначену вартість однієї тонни, що дозволило отримати оціночну річну вартість екологічної послуги, яку надають лісові ресурси столиці у вигляді утримання вуглецю. Такий підхід дозволяє порівнювати природоохоронну функцію міських лісів із

реальними економічними вигодами, актуальними на міжнародному ринку.

Аналіз економічного ефекту від депонування вуглецю лісовими ресурсами в районах міста Києва засвідчив, що найбільший річний прибуток, виражений у грошовому еквіваленті, забезпечують Голосіївський (понад 3,5 млн євро), Деснянський (близько 3,5 млн євро) та Дарницький райони (3,3 млн євро). Це пов'язано з великою площею лісових масивів у цих районах, зокрема Національного природного парку "Голосіївський" та густих лісів у напрямку Броварського лісового масиву. Святошинський район також високі показники — понад 2,9 млн євро на рік (рис. 2).

У середньому по районах з меншою лісистістю, таких як Шевченківський, Солом'янський, Печерський, Подільський та Дніпровський, економічний ефект оцінюється в межах 300 — 700 тис. євро на рік. Навіть у таких урбанізованих районах наявні зелені насадження, зокрема парки, лісопарки та озеленені зони, мають екологічну та економічну цінність. Зокрема, Шевченківський район за рахунок невеликих, але стабільно функціонуючих зелених зон генерує понад 300 тис. євро щорічного грошового еквівалента вуглецевого депонування (рис. 2).

Варто також зазначити, що представлені розрахунки економічного ефекту від депону-

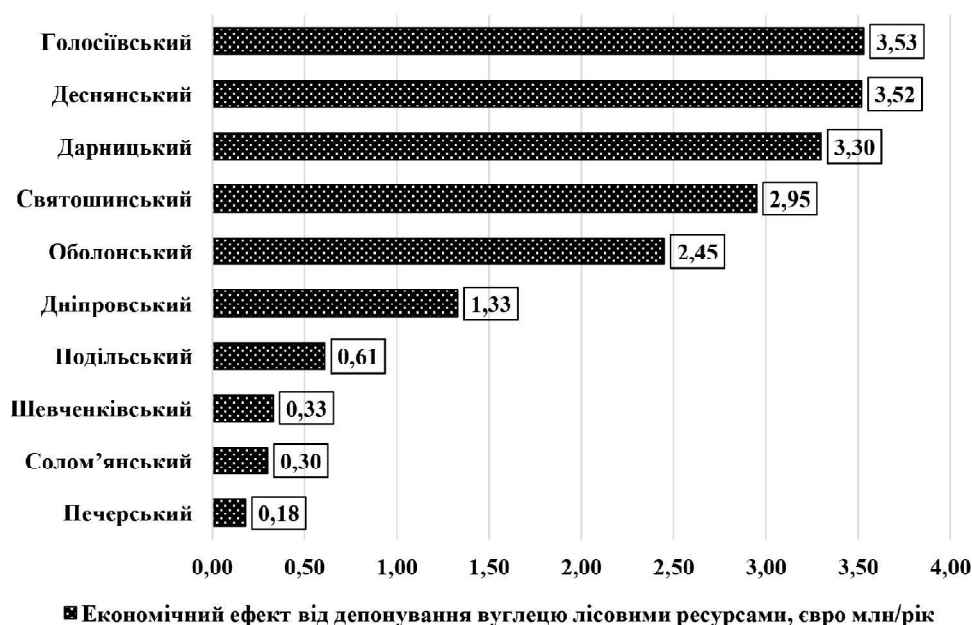


Рис. 2. Результати розрахунку економічного ефекту від депонування вуглецю лісовими ресурсами в розрізі районів міста Києва, млн євро/рік

Джерело: розраховано авторами за даними Global Forest Watch [11, 12, 13] та European Union Emission Trading Scheme [14, 15].

вання вуглецю лісовими ресурсами базуються на модельних даних, які мають певний рівень невизначеності. Дані про щорічне поглинання вуглецю отримані за допомогою супутникових моделей та алгоритмів оцінки біомаси, які, хоч і високоточні, але все ж допускають похибку в межах $\pm 10 - 20 \%$ [12, 13], особливо в умовах урбанізованого середовища. Водночас навіть за таких обставин отримані результати оцінювання дозволяють виявити потенціальний еквівалент вартості депонованого вуглецю виражений у реальних коштах, які можуть бути інвестовані у збереження, розширення та відновлення міських лісів. Таким чином, лісові ресурси слугують не лише екологічним буфером, а й економічним активом, що генерує економічну цінність для громади.

Для розрахунку економічної оцінки очищення повітря лісовими ресурсами в межах районів міста Києва, внаслідок поглинання забруднюючих речовин, таких як, діоксид азоту (NO_2), діоксид сірки (SO_2) які утворюються переважно внаслідок згоряння пального в автомобілях, викопного палива на електростанціях і в промисловості, озон (O_3), тверді частки (пил, сажа, частинки металів та інші дрібнодисперсні речовини, розміром до 10 мкм (PM_{10}) і до 2,5 мкм ($\text{PM}_{2,5}$), нами була використана методика розрахунку за формулою 1 [17, 18]:

$$E_{AP} = P_{AP} \times C_{AP} \quad (1),$$

де E_{AP} — вартість очищення кисню (євро/рік);

P_{AP} — кількість забруднюючих речовин, поглинутих лісовими ресурсами в урбанізованому середовищі (т/рік);

C_{AP} — середня вартість очищення 1 т забруднюючих речовин (євро/т);

Відповідно до методики оцінювання, обсяг поглинутих забруднювачів нами було визначено на основі інтегрального коефіцієнта поглинання для міських лісів (P_{AP}) на рівні 139,483 кг/га/рік (0,14 т/га/рік), що ґрунтується на даних i-Tree Eco (USDA) [18], а також дослідженнях Руссо А. (Russo A.), Чан В.Т., (Chan W. T.), Сірелла Г. Т. (Cirella G. T.) [18]. Цей коефіцієнт відображає сумарне значення поглинання міських лісових ресурсів основних забруднюючих речовин: $\text{NO}_2 = 20,375$ кг/га/рік, $\text{O}_3 = 90,596$ кг/га/рік, $\text{PM}_{2,5} = 5,670$ кг/га/рік, $\text{PM}_{10} = 20,329$ кг/га/рік, $\text{SO}_2 = 2,513$ кг/га/рік [18].

Наступним етапом нашого дослідження, було визначення середньої вартості очищення повітря лісовими ресурсами від забруднювачів на рівні 72,54 євро/кг (C_{AP}), що відповідає ме-

Таблиця 3. Результати економічної оцінки очищення повітря лісовими ресурсами в розрізі районів міста Києва

Район	Лісовкрита площа, га	Обсяг вилучення шкідливих речовин лісовими ресурсами, т/рік	Економічна оцінка очищення повітря лісовими ресурсами, млн євро/рік
Шевченківський	456,5	63,67	4,62
Солом'янський	473,3	66,02	4,79
Печерський	498,3	69,50	5,04
Дніпровський	748,6	104,42	7,57
Подільський	1102,3	153,75	11,15
Оболонський	1733,9	241,85	17,54
Дарницький	1741,3	242,88	17,62
Деснянський	2856,9	398,49	28,91
Голосіївський	3651,1	509,27	36,94
Святошинський	5726,2	798,71	57,94
Всього	18988,4	2648,56	192,13

Джерело: розраховано авторами за даними [11, 18, 19].

тодиці оцінки Європейського агентства з довкілля [20] та результатам досліджень щодо оцінки екосистемних послуг міських лісових насаджень [18, 19]: вартість очищення NO_2 становить приблизно 0,13 євро/кг, O_3 — 0,91 євро/кг, — 31,67 євро/кг, а — близько 39,78 євро/кг, SO_2 — 0,05 євро/кг. Ця вартість враховує витрати на медичне обслуговування, зниження смертності, втрати продуктивності та вплив на довкілля, що виникають унаслідок забруднення повітря у містах [19].

З огляду на представлені ключові показники нами було проведено економічну оцінку очищення повітря від забруднюючих речовин (діоксид азоту (NO_2), діоксид сірки (SO_2), озон (O_3), тверді частки (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$) лісовими ресурсами в місті Києва (табл. 3).

Згідно отриманих розрахунків, варто зазначити, що економічна оцінка очищення повітря лісовими ресурсами в розрізі районів міста Києва значно варіюється, демонструючи пряму залежність від лісовкритих площ. Найменший економічний ефект від екосистемних послуг лісових ресурсів щодо очищення повітря від шкідливих речовин спостерігається у Шевченківському, Солом'янському та Печерському районах. В межах цих територій лісовкриті площі становлять від 456,5 га до 498,3 га, що дозволяє поглинати від 63,67 т до 69,50 т шкідливих речовин. Відповідно, економічна оцінка очищення повітря в цих районах є найнижчою, коливаючись від 4,62 млн євро до 5,04 млн євро/рік, що свідчить про обмежений вплив на якість атмосферного повітря через відносно невелику кількість лісових насаджень в цих районах (рис. 3).

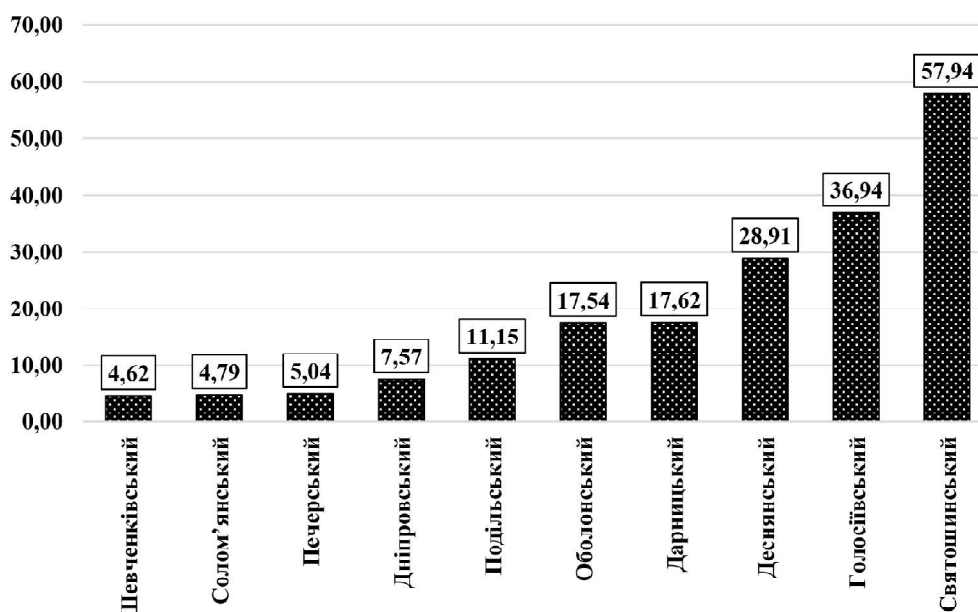


Рис. 3. Діаграма економічної оцінки очищення повітря лісовими ресурсами в розрізі районів міста Києва, млн євро

Джерело: розраховано авторами за даними [11, 18, 19].

Натомість, райони з найбільшими лісовими масивами демонструють найвищі показники економічної оцінки очищення повітря. Лідером є Святошинський район, де 5726,2 га лісів поглинають 798,71 т забруднень з повітря, при цьому, забезпечуючи економічний ефект у 57,94 млн євро. Голосіївський та Деснянський райони також відіграють значну роль, зокрема, 3651,1 га лісів Голосіївського району поглинають 509,27 т забруднень (економічна оцінка сягає 36,94 млн євро), а 2856,9 га лісів в Деснянському — 398,49 т (28,91 млн євро). Ці дані чітко ілюструють, як масштаби лісових насаджень безпосередньо впливають на обсяги поглинання шкідливих речовин та, відповідно, на економічну цінність екологічних послуг.

Загалом по місту Києву, лісові ресурси відіграють надзвичайно важливу роль у поліпшенні якості атмосферного повітря. Зважаючи що лісовкрита площа столиці становить близько 18988,4 тис. га, це дозволяє лісовим насадженням орієнтовно поглинати 2648,56 т шкідливих речовин. Економічна оцінка таких екологічних послуг для всього міста може сягати — 192,13 млн євро/рік. Це підкреслює величезну економічну та екологічну цінність лісів Києва як природних фільтрів, які забезпечують покращення навколишнього середовища для місцевих мешканців.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження засвідчує, що міські ліси Києва відіграють ключову роль у депонуванні вуглецю. Найвищі значення щорічного чистого поглинання CO₂ зафіксовано у

Голосіївському (49,50 тис. тонн CO₂/рік), Деснянському (49,30 тис. тонн CO₂/рік), Дарницькому (46,31 тис. тонн CO₂/рік) та Святошинському (41,39 тис. тонн CO₂/рік) районах, що забезпечує понад 80 % сумарного обсягу накопиченого карбону в межах міста. Загальний обсяг депонованого вуглецю за період 2001 — 2024 років перевищує 4,2 млн тонн CO₂, що підкреслює значний екологічний потенціал лісових масивів столиці.

Економічна оцінка депонування вуглецю демонструє пряму кореляцію між площею лісових насаджень і розрахованим грошовим еквівалентом. Так, найбільшу річну вартість окресленої функції забезпечують лісові ресурси у Голосіївському (≈3,53 млн євро), Деснянському (≈3,52 млн євро) та Дарницькому (≈3,30 млн євро) районах, тоді як у лісові масиви у районах з обмеженою лісистістю — Печерському (≈0,18 млн євро), Солом'янському (≈0,30 млн євро) та Шевченківському (≈0,33 млн євро) — економічний ефект є значно нижчим.

Аналіз здатності міських лісів до очищення атмосферного повітря виявив, що лісовкриті площі Києва загальною площею 18988,4 га забезпечують видалення близько 2648,56 т шкідливих речовин щорічно. Економічна оцінка цієї екосистемної функції варіюється від 4,62 — 5,04 млн євро/рік у районах із низькою лісистістю (Шевченківський, Солом'янський, Печерський) до 57,94 млн євро/рік у Святошинському районі, що підтверджує пріоритетність збереження та розширення лісових масивів у контексті розвитку екологічної інфраструктури міста.

Узагальнені результати дослідження свідчать про значну нерівномірність розподілу екологічних та економічних функцій лісів серед адміністративних районів Києва. Врахування цих відмінностей є необхідним для оптимізації міських програм відновлення та управління зеленими зонами, формування ефективної екологічної політики та підвищення потенціалу міських лісів як природних фільтрів і економічно значущих ресурсів.

Література:

1. Kryvoviaz E., Openko I., Tykhenko R., Shevchenko O., Tykhenko O., Tsvyakh O., Chumachenko O. Recovery of losses for inappropriate use of land. *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*. Vol. IX, 2020, pp. 175—182.
2. Tykhenko R., Tykhenko O., Openko I., Shevchenko O., Bavrovska N., Zhuk O., Tsvyakh O., Stepchuk Ya. The assessment of impact ecological stability of territory on the organization of rational land use of agricultural enterprises. *Scientific Papers Series "Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development"*. 2021. Volume 21, Issue 2/2021, pp. 685—692.
3. Шевченко О. В., Опенько І. А. Теоретичні передумови раціонального сільськогосподарського землекористування. Збалансоване природокористування. 2017. № 3 С. 126—130.
4. Шевченко О. В., Опенько І. А., Цвях О. М. Економічні передумови чергування культур як спосіб запобігання деградації агроландшафту. Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. 2017. № 2. С. 58—65.
5. Опенько І. А., Шевченко О. В., Цвях О. М. Аналіз наукових-методичних підходів до грошової оцінки земельних ділянок із полезахисними лісовими насадженнями. Збалансоване природокористування. 2016. № 4. С. 137—142.
6. Опенько І. А. Порівняльний аналіз оприлюднення земельно-кадастрових відомостей у зарубіжних країнах та Україні. Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. 2013. № 3. С. 80—87.
7. Опенько І. А. Еколого-економічна продуктивність використання земель лісгосподарського призначення в Україні. *Агросвіт*. № 13—14, 2019, С. 44—52. URL: http://www.agrosvit.info/pdf/13-14_2019/8.pdf
8. Опенько І. А. Кореляційний аналіз впливу існуючої системи державного управління на використання земель лісгосподарського призначення в Україні. *Економіка та держава*. № 7, 2019, С. 55—62. URL: http://www.economy.in.ua/pdf/7_2019/12.pdf
9. Лакида М. О., Васишин Р. Д., Лакида І. П., Мельник О. М. Міські ліси Києва: біопродуктивність та еколого— енергетичний потенціал. Монографія. Київ. ТОВ "ЦП "Компринт", 2022. 313 с.
10. Національний природний парк "Голосіївський". Проект організації території національного природного парку "Голосіївський". 2020. URL: <https://nppg.gov.ua/uk/node/132>
11. Global Forest Watch. 2025. URL: <https://www.globalforestwatch.org/map/>
12. Harris N. L., Gibbs D. A., Baccini A., Birdsey R. A., Bruin de S., Farina M., Fatoyinbo L., Hansen M. C., Herold M., Houghton R. A., Potapov P. V., Requena Suarez D., Roman-Cuesta R. M., Saatchi S. S., Slay C. M., Turubanova S. A., Tyukavina A. Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature Climate Change*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00976-6>
13. Gibbs D. A., Rose M., Grassi G., Melo J., Rossi S., Heinrich V., Harris N. L. Revised and updated geospatial monitoring of 21st century forest carbon fluxes. *Earth System Science Data*. 2025. URL: <https://doi.org/10.5194/essd-17-1217-2025>
14. EU Carbon Permits. Trading Economics. 2025. URL: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>
15. Twidale S. Analysts' EU carbon price forecasts steady as US tariff concerns linger. Reuters. 2025. URL: <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/analysts-eu-carbon-price-forecasts-steady-us-tariff-concerns-linger-2025-07-16/>
16. Reccessary. Carbon Price. 2025. URL: https://reccessary.com/en/carbon_price
17. David J. Nowak, Daniel E. Crane. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*. 2002, vol. 116, issue 3, p. 381—389. URL: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)
18. Russo A., Chan W. T., Cirella G. T. Estimating Air Pollution Removal and Monetary Value for Urban Green Infrastructure Strategies Using Web-Based Applications. *Land*. 2021, Vol. 10, № 788. URL: <https://doi.org/10.3390/land10080788>
19. Zbigniew S. The value of air purification and carbon storage ecosystem services of park trees in Warsaw, Poland. *Environmental & Socio-economic Studies*. 2022, vol. 10, № 3, pp. 1—11. DOI:10.2478/enviro-2022-0012

20. ExternE (External Costs of Energy). 2005. ExternE — Externalities of Energy Methodology. URL: http://www.externe.info/externe_d7/

References:

1. Kryvoviaz, E., Openko, I., Tykhenko, R., Shevchenko, O., Tykhenko, O., Tsyvakh, O. and Chumachenko, O. (2020), "Recovery of losses for inappropriate use of land. Scientific Papers", Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering, Vol. IX, pp. 175—182.

2. Tykhenko, R., Tykhenko, O., Openko, I., Shevchenko, O., Bavrovska, N., Zhuk, O., Tsyvakh, O. and Stepchuk, Ya. (2021), "The assessment of impact ecological stability of territory on the organization of rational land use of agricultural enterprises", Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development, Vol. 21, Issue 2/2021, pp. 685—692.

3. Shevchenko, O. V. and Openko, I. A. (2017), "Theoretical prerequisites for rational agricultural land use", Zbalansovane pryrodokorystuvannia, vol. 3, pp. 126—130.

4. Shevchenko, O. V. Openko, I. A. and Tsyvakh O. M. (2017), "Economic preconditions for alternating crops as a way to prevent degradation of the agro-landscape", Zemleustrij, kadastr i monitorynh zemel', vol. 2, pp. 58—65.

5. Openko, I. A., Shevchenko, O. V. and Tsyvakh, O. M. (2016), "Analysis of scientific and methodical approaches to the monetary valuation of land with field-protective forest plantations", Zbalansovane pryrodokorystuvannia, vol. 4, pp. 137—142.

6. Openko, I. A. (2013), "A comparative analysis of the publication of land cadastral data in foreign countries and Ukraine", Zemleustrij, kadastr i monitorynh zemel', vol. 3, pp. 80—87.

7. Openko, I. A. (2019), "Ecological and economic productivity of land use in Ukraine", Ahrosvit, vol. 13—14, pp. 44—52, available at: http://www.agrosvit.info/pdf/13-14_2019/8.pdf (Accessed 22 June 2025).

8. Openko, I. A. (2019), "Correlation analysis of the impact of the existing public administration system on forest land use in Ukraine", Ekonomika ta derzhava, vol. 7, pp. 55—62, available at: http://www.economy.in.ua/pdf/7_2019/12.pdf (Accessed 22 June 2025).

9. Lakyda, M. O., Vasylyshyn, R. D., Lakyda, I. P. and Melnyk, O. M. (2022), Miski lisy Kyieva: bioproduktyvnist ta ekoloho-enerhetychnyj potentsial [Urban forests of Kyiv: bioproductivity and ecological-energy potential], TOV "TsP Komprint", Kyiv, Ukraine.

10. Holosiivskyi National Nature Park (2020), "Territorial planning project of the Holosiivskyi National Nature Park", available at: <https://nppg.gov.ua/uk/node/132> (Accessed 25 August 2025).

11. Global Forest Watch (2025), "Interactive forest monitoring platform", available at: <https://www.globalforestwatch.org/map/> (Accessed 25 August 2025).

12. Harris, N. L., Gibbs, D. A., Baccini, A., Birdsey, R. A., Bruin de, S., Farina, M., Fatoyinbo, L., Hansen, M. C., Herold, M., Houghton, R. A., Potapov, P. V., Requena Suarez, D., Roman-Cuesta, R. M., Saatchi, S. S., Slay, C. M., Turubanova, S. A. and Tyukavina, A. (2021), "Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes", Nature Climate Change. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00976-6>.

13. Gibbs, D. A., Rose, M., Grassi, G., Melo, J., Rossi, S., Heinrich, V. and Harris, N. L. (2025), "Revised and updated geospatial monitoring of 21st century forest carbon fluxes", Earth System Science Data. <https://doi.org/10.5194/essd-17-1217-2025>.

14. EU Carbon Permits (2025), "EU carbon price data", Trading Economics, available at: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon> (Accessed 25 August 2025).

15. Twidale, S. (2025), "Analysts' EU carbon price forecasts steady as US tariff concerns linger", Reuters, available at: <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/analysts-eu-carbon-price-forecasts-steady-us-tariff-concerns-linger-2025-07-16/> (Accessed 25 August 2025).

16. Reccessary (2025), "Carbon Price", available at: https://reccessary.com/en/carbon_price (Accessed 25 August 2025).

17. Nowak, D. J. and Crane, D. E. (2002), "Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA", Environmental Pollution, vol. 116, no. 3, pp. 381—389. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7).

18. Russo, A., Chan, W. T. and Cirella, G. T. (2021), "Estimating Air Pollution Removal and Monetary Value for Urban Green Infrastructure Strategies Using Web-Based Applications", Land, vol. 10, no. 788, <https://doi.org/10.3390/land10080788>.

19. Zbigniew, S. (2022), "The value of air purification and carbon storage ecosystem services of park trees in Warsaw, Poland", Environmental & Socio-economic Studies, vol. 10, no. 3, pp. 1—11. <https://doi.org/10.2478/environ-2022-0012>.

20. ExternE (2005), "ExternE — Externalities of Energy Methodology", available at: http://www.externe.info/externe_d7/ (Accessed 25 August 2025).

Стаття надійшла до редакції 26.08.2025 р.