

## VI. МОЛОДІ НАУКОВЦІ

<http://doi.org/10.17721/1728-2721.2021.78-79.10>  
УДК 911.8

Є. ЦИГАНОК, асп.  
ORCID ID: 0000-0002-4595-2705  
Scopus ID: 57219710376

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

### АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ ТА ОЗЕЛЕНЕННЯ ЯК ІНДИКАТОРИ КОМФОРТНОСТІ КОМПАКТНОГО МІСТА (НА ПРИКЛАДІ КИЄВА)

*Метою статті є дослідити просторовий розподіл і забезпеченість зеленими зонами мешканців великого міста на прикладі Києва, оцінити реальний стан зеленої інфраструктури, розкрити взаємозв'язок якості атмосферного повітря та комфортності проживання в окремих районах столиці. Для виконання поставленої мети проаналізовано відповідність Києва вимогам концепції сталого компактного міста, запропоновано оригінальну методику обґрунтування ступеня комфортності проживання із врахуванням якості атмосферного повітря. Із цією метою на картографічну основу нанесено контури всіх міських зелених зон площею від одного гектара та розраховано низку важливих індикаторів стану зеленої інфраструктури столиці та її адміністративних районів. Додатково обчислено середньорічні рівні забруднення повітряного басейну столиці з подальшим розрахунком індексу якості атмосферного повітря.*

*Виявлено низку суттєвих недоліків функціонування державної системи моніторингу якості атмосферного повітря, обґрунтовано критерії розміщення пунктів спостереження та датчиків для оперативного вимірювання концентрацій забруднювальних речовин. На основі розрахованих індексів озеленення, забезпеченості зеленими зонами та якості атмосферного повітря проведено ранжування адміністративних районів Києва задля оцінки ступеня комфортності й безпечності міського середовища. Аналіз стану і розподілу міських зелених насаджень виявив їхню значну віддаленість від найбільш населених житлових масивів та недостатню забезпеченість зеленими зонами, не зважаючи на високі показники рівня озеленення. Також ідентифіковано пріоритетні райони для планування, розширення й оптимізації міських зелених зон. Серед перспективних напрямів подальших досліджень пріоритетними є визначення якісного стану зелених насаджень, обчислення рівномірності їх просторового розподілу, пішохідної та транспортної доступності населення міста до елементів зеленої інфраструктури, включаючи природоохоронні території. Актуальність теми дослідження обумовлена безрезультатними пошуками компромісів між ущільненням міської забудови та збереженням зелених зон, що призводить до погіршення якості атмосферного повітря й загального екологічного стану міста Києв, зниження рівня його соціально-економічного розвитку, зростання захворюваності населення тощо.*

*Ключові слова: міські зелені зони; зелені насадження; урбанізований простір; концепція компактного міста; якість атмосферного повітря; забруднювальні речовини.*

**Постановка проблеми.** Оскільки урбанізація на сьогодні відбувається прискореними темпами, сталий розвиток дедалі більше залежить від раціонального управління міським середовищем. У XXI ст. сукупна площа міст збільшується щороку в середньому на 1,5 % (Global State of Metropolis 2020 – Population Data Booklet, 2020). А станом на 2020 р. приблизно 56,2 % населення світу (4,4 млрд осіб) проживає в міських поселеннях (World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization, 2020). Високий рівень щільності помешкань, об'єктів промисловості та сфери послуг, міського транспорту призвів до надмірної концентрації атмосферного забруднення й відходів. Безрезультатні пошуки компромісів між ущільненням міської забудови та збереженням зелених зон зумовлюють виникнення численних конфліктів природокористування, унаслідок чого деградують екосистеми, виснажуються природні ресурси, знижується рівень соціально-економічного розвитку міст.

В умовах обмеженості площі зелених зон, ущільнення забудови та змішаного землекористування оптимальною моделлю сталого міського планування є концепція комфортного й компактного міста. Міські поселення можуть запропонувати кращий доступ до інфраструктури, вищий рівень комфорту та благополуччя. Одним із вимірів комфортності життя в урбанізованому середовищі є показник якості атмосферного повітря, який у більшості сучасних міст має незадовільні значення. Це призвело до передчасної смерті більш ніж 8,8 млн осіб щороку, починаючи із 2018 р. (Lelieveld, Pozzer, Pöschl, Fnais, Haines, Münzel, 2020). Проведення моніторингових досліджень якості атмосферного повітря урбанізованих зон є ключовим елементом комплексних стратегій фундаментальної розбудови комфортного та безпечного міста.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наприкінці минулого сторіччя концепція розростання міст стала перешкодою для сталого міського розвитку. Дослідники вказують на необхідність урахування ландшафтної структури урбанізованого простору при розробленні концепції "сталого міста". Ідеться, передусім, про оптимізацію взаємодії ландшафтної архітектури та планування розвитку міст (Deveikienė, 2018); створення природоохоронних зон у курортних містах (Khoshtaria, Chachava, 2017); планування міських зелених просторів (Veinberga, Zigmunde, 2016) тощо. Дедалі більше підтримується ідея компактного міста, яка поступово перетворюється на політику створення компактних і зелених міст. Вони мають характеризуватися високою щільністю населення і привабливою зеленою інфраструктурою. Зокрема, у праці (Tappert, Klöti, Drilling, 2018) наголошується на тому, що природні компоненти міста повинні розглядатися як невід'ємна фундаментальна складова його сталого розвитку, що сприятиме очищенню повітря, регулюванню мікроклімату, підвищенню якості урболандшафтів, залагодженню конфліктів природокористування.

Останні дослідження західноєвропейських науковців демонструють узгоджене бачення міських зелених зон не лише як цінних активів, які сприятимуть зниженню витрат на охорону здоров'я містян, але й своєрідними рушіями урбанізації, які приваблюватимуть міське населення, стимулюватимуть активну житлову забудову навколо них (Brambilla, Ronchi, 2016; Pardo, 2019). Однак обмеженість наявних площ для зелених насаджень у містах потребує пошуку альтернативних концепцій сучасного містобудування. До таких належать, зокрема, концепції (моделі) міської зеленої інфраструктури (M3I), природоорієнтовані рішення (nature-based solutions), біофільний урбанізм (напр., у Сингапурі), міста-губки

(sponge cities) (напр., у Шанхаї), лісові міста, їстівна зелена інфраструктура (edible green infrastructure), екоурбанізм і ландшафтний урбанізм (Russo, Cirella, 2018).

Проте планування міських зелених зон усе ще залишається відносно новим інструментом політики Євросоюзу, а в Україні лише починає зароджуватися. Також бракує досліджень, присвячених аналізу забезпеченості міських мешканців зеленими зонами, розробці набору ефективних індикаторів для оцінювання їхньої наявності, доступності та привабливості. Чимало уваги приділяється питанням моніторингу якості атмосферного повітря, а зв'язок забруднення повітря та ступеня комфортності проживання в містах та їх окремих районах вивчено недостатньо. Відсутні дослідження стосовно відповідності рівнів забруднення повітря сучасним вимогам до компактного і зеленого міста. Зокрема, навіть у столиці України не всі адміністративні райони охоплені станціями моніторингу якості атмосферного повітря, що ускладнює проведення комплексних досліджень.

**Мета і завдання дослідження.** Зважаючи на невіршені частини проблеми, метою цього дослідження є дослідити просторовий розподіл та забезпеченість зеленими зонами мешканців міст на прикладі Києва, оцінити реальний стан зеленої інфраструктури, взаємозв'язок якості атмосферного повітря та комфортності проживання в різних адміністративних районах столиці. Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- проаналізувати відповідність Києва вимогам концепції сталого компактного міста;
- оцінити реальний стан озеленення адміністративних районів міста за ключовими показниками;
- запропонувати методіку обґрунтування ступеня комфортності проживання із врахуванням якості атмосферного повітря;
- установити відповідність рівнів забруднення повітря вимогам до компактного і зеленого міста;
- провести ранжування адміністративних районів Києва за отриманими показниками задля оцінки ступеня комфортності та визначення пріоритетних районів для планування, розширення чи оптимізації міських зелених зон.

**Методика та методологія.** Зважаючи на тісний зв'язок розподілу зелених насаджень із географічним положенням та історією конкретного міста, для оцінки забезпеченості населення зеленими зонами необхідно використовувати широкий набір індикаторів. У цій роботі запропоновано методіку обґрунтування ступеня комфортності проживання в кожному районі Києва. Для цього було проаналізовано демографічні статистичні дані, креслення діючого та проектного Генеральних планів міста Київ, нормативні й програмні документи Київської міської ради, геопросторові дані OpenStreetMap та Google Map, рівні атмосферного забруднення в різних районах Києва. Задля картографічного зіставлення всіх наявних шарів даних проведено оверлейний аналіз у програмному забезпеченні QGIS, що дозволило відслідкувати кореляцію показників щільності населення, контурів зелених зон і рівнів забруднення атмосферного повітря.

На основі отриманого картографічного матеріалу було обчислено геометричні характеристики зелених зон Києва, що дозволило розрахувати низку важливих індикаторів, які відображають відповідність столиці вимогам до компактного й зеленого міста. Подібні показники використовуються при складанні рейтингів зелених міст, зокрема індекс озеленення (Greenness Index (GI)), індекс забезпеченості зеленими зонами на одну людину (Green space provision Index (GSPi)), індекс якості атмосферного повітря (Air quality Index (AQI)) та інтегральний індекс комфортності проживання у місті та його окремих районах (City comfort Index (CCI)).

Для розрахунку індексу озеленення адміністративних районів та міста в цілому було обчислено коефіцієнти озеленення (Greenness Coefficient (GC)) як частки від ділення площі їхніх зелених зон на загальні площі територіальних одиниць:

$$GC_i = \frac{s_i}{S_i} \times 100\%, \quad (1)$$

де  $GC_i$  – коефіцієнт озеленення  $i$ -го району,  $s_i$  – сукупна площа зелених зон  $i$ -го району,  $S_i$  – загальна площа  $i$ -го району.

Після отримання значення коефіцієнтів озеленення легко здійснити перехід до розрахунку індексу озеленення:

$$GI_i = \frac{GC_i}{GC_j}, \quad (2)$$

де  $GI_i$  – індекс озеленення  $i$ -го району,  $GC_i$  – коефіцієнт озеленення  $i$ -го району,  $GC_j$  – коефіцієнт озеленення  $j$ -го міста.

Для обчислення індексу забезпеченості зеленими зонами було використано відповідні коефіцієнти (Green space provision Coefficient (GSPC)) як частки від ділення площі зелених адміністративно-територіальних районів на чисельність їхнього постійного населення:

$$GSPC_i = \frac{s_i}{P_i}, \quad (3)$$

де  $GSPC_i$  – коефіцієнт забезпеченості зеленими зонами  $i$ -го району,  $s_i$  – сукупна площа зелених зон  $i$ -го району,  $P_i$  – чисельність постійного населення  $i$ -го району.

Даний індикатор доволі інформативний і дозволяє встановити кількість квадратних метрів зелених насаджень, які припадають на одного міського мешканця. Індекс забезпеченості зеленими зонами розраховується за формулою:

$$GSPI_i = \frac{GSPC_i}{GSPC_j}, \quad (4)$$

де  $GSPI_i$  – індекс забезпеченості зеленими зонами  $i$ -го району,  $GSPC_i$  – коефіцієнт забезпеченості зеленими зонами  $i$ -го району,  $GSPC_j$  – коефіцієнт забезпеченості зеленими зонами  $j$ -го міста.

Для обчислення індексу якості атмосферного повітря спочатку було отримано значення комплексного індексу забруднення атмосфери (Air pollution Index (API)), розрахованого за методиками (Hryhorieva, Tomilin, Sukha, 2018; Kotelnikova, Chuhai, 2014; Rychak, Tabachna, 2012):

$$API_n = \sum_{i=1}^n API_i = \sum_{i=1}^n \left( \frac{C_i}{ГДК_i} \right)^{a_i}, \quad (5)$$

де  $API_n$  – комплексний індекс забруднення атмосфери,  $API_i$  – індекс забруднення атмосфери  $i$ -тою забруднювальною речовиною,  $C_i$  – середня концентрація  $i$ -тої забруднювальної речовини в атмосферному повітрі,  $ГДК_i$  – середньодобова гранично допустима концентрація  $i$ -тої забруднювальної речовини в атмосферному повітрі,  $a_i$  – безрозмірна константа приведення ступеня шкідливості забруднювальної речовини до шкідливості сірчистого газу.

Далі обраховано індекси якості атмосферного повітря адміністративних районів Києва за формулою:

$$AQI_i = \frac{API_i}{API_j}, \quad (6)$$

де  $AQI_i$  – індекс якості атмосферного повітря  $i$ -го району,  $API_i$  – індекс забруднення атмосферного повітря  $i$ -го району,  $API_j$  – індекс забруднення атмосферного повітря  $j$ -го міста.

Після отримання значень попередніх трьох індикаторів було визначено комплексний показник відповідності столиці та її районів сучасним вимогам до компактного і

зеленого міста – інтегральний індекс комфортності проживання (City comfort Index (CCI)) у місті та окремих адміністративних районах:

$$CCI_i = GI_i + GSPi_i - AQI_i, \quad (7)$$

де CCI<sub>i</sub> – інтегральний індекс комфортності проживання і-го району, GI<sub>i</sub> – індекс озеленення і-го району, GSPi<sub>i</sub> – індекс забезпеченості зеленими зонами і-го району, AQI<sub>i</sub> – індекс якості атмосферного повітря і-го району.

Проведені розрахунки дають змогу оцінити реальний стан озеленення адміністративних районів міста, на основі чого можна планувати пріоритетні заходи щодо розширення чи оптимізації міських зелених зон у межах Києва та його окремих районів.

**Виклад основного матеріалу.** Створення комфортного компактного міста передбачено проектом нового Генерального плану міста Києва до 2040 р., який офіційно оприлюднено для громадського обговорення. Передбачено повною мірою відмовитись від розширення міської території за рахунок приєднання навколишніх населених пунктів на користь створення комфортного компактного міста, виходячи з наявних ресурсів і потенціалу. Подібна концепція передбачає не лише ущільнення забудови та змішане землекористування, але й розвинену зелену інфраструктуру, що стає значущим ресурсом міського розвитку. Однак некероване та хаотичне зростання забудованої площі призводить до значного переважання "сірої" інфраструктури міста над зеленими зонами, які не витримують надмірного рекреаційного навантаження. Сприяє цьому і відсутність чіткої концепції реінтеграції територій колишніх промислових зон, які у низці європейських країн успішно трансформовані у зелені осередки відпочинку містян. Також дослідники вказують на необхідність з'ясування кола функцій, які виконує столичне місто, та обов'язковому включенні міської агломерації у просторову планувальну структуру (Kyiv–225: Stratehiiia ne Stratehichna, 2016; Yakym zhe buty Kyievu, 2016).

Зважаючи на протиріччя між необхідністю компактного розвитку, з одного боку, та збереженням зелених зон, підвищенням якості зелених насаджень – з іншого боку, важливо повсюдно інтегрувати міські зелені зони (МЗЗ) у "сіру" інфраструктуру, тобто житлову та іншу забудову, дороги, комунальні служби тощо (Artmann, Bastian, Grunewald, 2017). МЗЗ зазвичай включають усі зелені насадження в межах міста (ліси та лісопарки, парки, сквери, приватні сади, дерева й кущі уздовж залізничних колій та автомобільних доріг, клумби тощо). Саме їхня сукупна площа в розрахунку на одного жителя і є основою так званих "рейтингів зелених міст": наприклад, у Люблянці, Європейській зеленій столиці 2016 р., площа зелених насаджень утричі перевищує площу "сірої" інфраструктури (Ljubljana – winner 2016 European Green Capital, 2016), у той же час як Київ станом на 2020 р. посідає лише 100-те місце за ступенем озеленення (Husqvarna Urban Green Space Index: Quantifying the greenness of global cities, 2020).

Однак оптимізація зеленої інфраструктури з метою розбудови компактного й комфортного міського простору має спиратися на більш ефективні показники та індикатори, які відображають поточний стан МЗЗ. Зокрема, ідеться про якісний стан зелених насаджень, рівномірність їхнього просторового розподілу, пішохідну та транспортну доступність мешканців міста до них тощо. Варто зазначити і те, що до недавнього часу переважна більшість міст світу будувалися без урахування таких показників, як забруднення атмосферного повітря, обсяги викидів CO<sub>2</sub>, рівень акустичного та електромагнітного забруднення, озеленення урбанізованого простору тощо. Якість атмосферного повітря в міському середовищі значною мірою залежить від розвиненості МЗІ, адже зелені насадження сприяють очищенню повітряного басейну, регулюванню мікроклімату, підвищенню якості урболандшафтів.

**Об'єктом** дослідження обрано Київ як найбільше за площею та чисельністю населення місто України, неодноразово визнане найзеленішою європейською столицею серед міст-мільйонників. Однак упродовж останніх п'яти років Київ утрачає свої лідерські позиції у свіжих рейтингах, оскільки значні площі МЗЗ знищено під житлове та комерційне будівництво, а рівень забрудненості атмосферного повітря непомірно зростає, що призводить до значного погіршення екологічної ситуації в межах міста. З метою аналізу відповідності Києва вимогам концепції сталого компактного міста проведено оцінку реального стану озеленення адміністративних районів міста з використанням вищенаведених розрахункових форм. На картографічну основу нанесено всі МЗЗ у межах міста (рис. 1), які сукупно становлять 54,8 % території міста (452,8 км<sup>2</sup>) – усього 3548 контурів. Розрахунки всіх основних індикаторів наведено у табл. 1.

Зважаючи на отримані результати, найвищий рівень озеленення мають Деснянський (67,9 %), Святошинський (64,5 %), Оболонський (63,8 %) і Дарницький (62,9 %) райони. Зелені насадження представлені переважно міськими лісовими масивами, однак розміщені вони вкрай нерівномірно, переважно на околицях районів і міста в цілому, що ускладнює доступ до них населення "спальних" житлових масивів. МЗЗ Святошинського та Оболонського районів входять до складу природоохоронних територій (ПОТ) загальнодержавного й місцевого значення. Найменш озеленим є Солом'янський район, де МЗЗ займають лише 14,8 % його території; при цьому тут найвищі показники щільності населення серед столичних адміністративних районів. Зелені зони розосереджені більш-менш рівномірно, що позитивно впливає на забезпеченість мешканців району місцями для відпочинку, хоча і значення індексу озеленення більш ніж у чотири рази нижче за найзеленіші райони столиці.

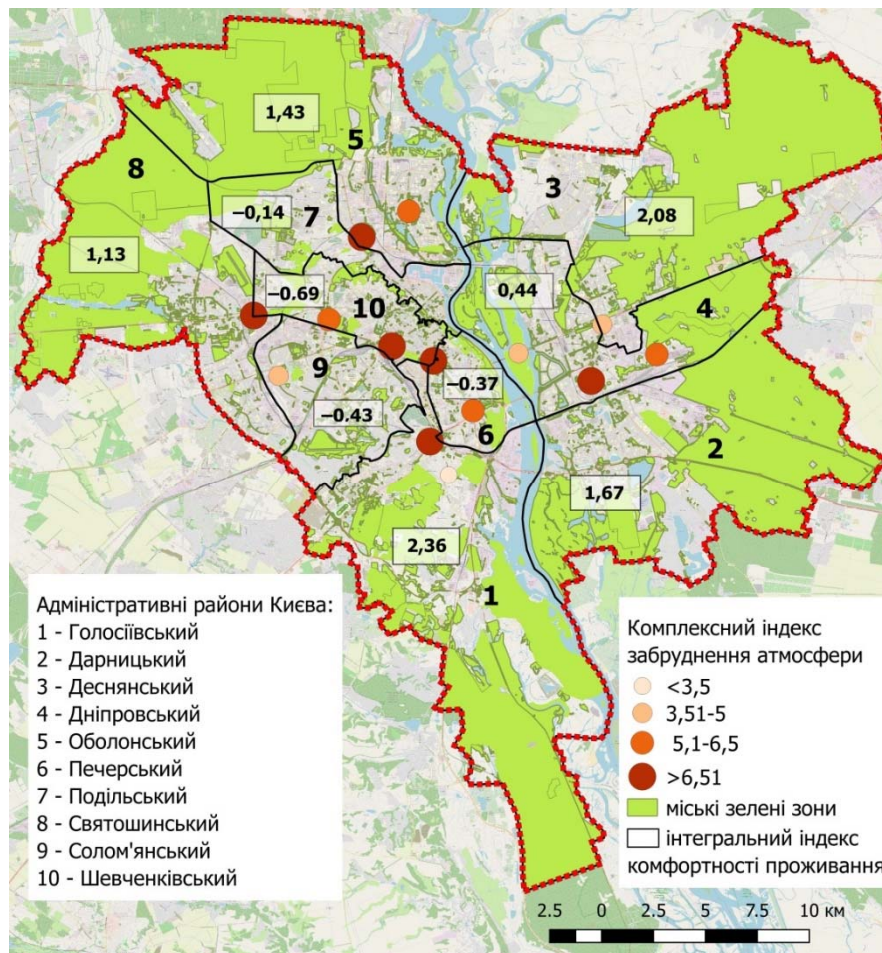


Рис.1. Індикатори комфортності проживання у Києві

Таблиця 1. Основні індикатори міських зелених зон Києва

Райони Києва	S <sub>i</sub> , км <sup>2</sup>	s <sub>i</sub> , км <sup>2</sup>	GC, %	GI	P <sub>i</sub> , осіб	GSPC, м <sup>2</sup> /ос.	GSPI	API	AQI	CCI
Голосіївський	155,59	83,254	53,51	<b>0,98</b>	252 553	329,65	<b>2,13</b>	4,14	<b>0,75</b>	2,36
Дарницький	127,846	80,386	62,88	<b>1,15</b>	340 928	235,79	<b>1,52</b>	5,55*	<b>1,00*</b>	1,67
Деснянський	141,396	95,973	67,88	<b>1,24</b>	366 624	261,78	<b>1,69</b>	4,72	<b>0,85</b>	2,08
Дніпровський	68,678	32,314	47,05	<b>0,86</b>	356 982	90,52	<b>0,58</b>	5,56	<b>1,00</b>	0,44
Оболонський	108,484	69,184	63,77	<b>1,16</b>	316 299	218,73	<b>1,41</b>	6,34	<b>1,14</b>	1,43
Печерський	19,77	4,068	20,58	<b>0,38</b>	158 468	25,67	<b>0,17</b>	5,13	<b>0,92</b>	-0,37
Подільський	34,555	10,273	29,73	<b>0,54</b>	204 871	50,14	<b>0,32</b>	5,55*	<b>1,00*</b>	-0,14
Святошинський	102,455	66,103	64,52	<b>1,18</b>	336 787	196,28	<b>1,27</b>	7,32	<b>1,32</b>	1,13
Солом'янський	40,579	6,003	14,79	<b>0,27</b>	381 218	15,75	<b>0,10</b>	4,46	<b>0,8</b>	-0,43
Шевченківський	26,11	5,238	20,06	<b>0,37</b>	210 959	24,83	<b>0,16</b>	6,75	<b>1,22</b>	-0,69
Місто Київ	825,463	452,796	54,85	<b>1,00</b>	2 925 689	154,77	<b>1,00</b>	5,55	<b>1,00</b>	1,00

Примітка:\* – умовні значення прийнято як середні показники для міста.

Інша ситуація склалася з індексом забезпеченості зеленими зонами: різниця між максимальним і мінімальним значеннями становить понад 20 разів, що свідчить про абсолютну нерівномірність розподілу зелених насаджень. Найвищі показники – у Голосіївському районі, який має найнижчу щільність населення і високий рівень озеленення завдяки розташуванню чотирьох із п'яти масивів Голосіївського національного природного парку (НПП), найбільшої міської ПОТ в Україні. Найнижчий показник забезпеченості зеленими зонами у розрахунку на одного мешканця має Солом'янський район, що пояснюється майже втричі вищою щільністю населення та найменшою площею МЗЗ. У середньому на кожного жителя Києва припадає майже 155 м<sup>2</sup> зелених насаджень, що втричі перевищує рекомендації ВООЗ (Russo,

Cirella, 2018), але майже у чотири рази менше за відповідний показник Любляни (Ljubljana – winner 2016 European Green Capital, 2016).

Що стосується індексу якості атмосферного повітря, то його обчислення відбувалося з певними труднощами через брак систематизованої інформації. Проведення моніторингових досліджень якості атмосферного повітря Києва здійснює Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського (ЦГО), мережа якої нараховує 16 стаціонарних постів у восьми адміністративних районах столиці. Таким чином, два міські райони лишаються не охопленими постами спостереження забруднення (ПСЗ) і контролем за якістю повітряного басейну, що певною мірою утруднює дотримання репрезентативності дослідження. Просторове розташування постів

спостереження доволі нерівномірне: від трьох у Дніпровському та Шевченківському районах – до одного у Печерському, Солом'янському та Святошинському. Ще одним недоліком регулярних спостережень ЦГО є відсутність повноти обсягу проведення моніторингу: на кожному ПСЗ визначається вміст від однієї до дев'яти забруднювальних речовин, що призводить до спотворення розрахунку індексу забруднення атмосфери як арифметичної суми перевищення концентрацій шкідливих речовин. Окрім цього, у 2020 р. на двох ПСЗ вимірювання взагалі були призупинені через відключення їх від електроенергії та введення низки карантинних обмежень.

Альтернативою вищезгаданій державній системи моніторингу є низка громадських та комерційних проєктів на зразок Eco Info, LUN City, Smart Environment, Kyiv Smart City тощо. Оперативний доступ до актуальної інформації про стан атмосферного повітря забезпечується за допомогою мобільних застосунків, телеграм-ботів, а також убудованих в операційну систему смартфона сервісів погоди. Їхнім основним недоліком є скорочений перелік речовин, за якими ведеться спостереження: здебільшого сенсори вимірюють лише концентрації твердих часточок діаметром менше 2,5 та 10 мкм (particulate matter PM<sub>2.5</sub> і PM<sub>10</sub>), температуру і вологість повітря. Також у вільному доступі відсутні статистичні дані вимірювань за період 48 год і більше. У той час як на ПСЗ визначається вміст завислих частинок (PM<sub>2.5</sub> і PM<sub>10</sub> сумарно), діоксиду сірки (sulfur dioxide SO<sub>2</sub>), оксиду вуглецю (carbon monoxide CO), діоксиду азоту (nitrogen dioxide NO<sub>2</sub>), але при цьому відсутній поділ завислих частинок, як це вимагає Директива 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря (Yakist atmosfernoho povitria: korotkyi opys Dyrektyv YeS ta hrafiku yikh vprovadzhennia, 2015), та поза увагою залишаються деякі агресивні поширені речовини, як-от озон, бензен, свинець.

Для розрахунку індексу якості атмосферного повітря використано дані ЦГО (Stan zabrudnennia u m. Kyievi i Kyivskii oblasti (shchomisiachni), 2021) за 12 календарних місяців 2020 р., які обчислюються у вигляді середньомісячних концентрацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі у кратності середньодобових ГДК. Для збільшення достовірності дослідження обчислення проведено для даних 14 із 16 постів, на яких проводилися регулярні спостереження за вмістом завислих речовин, оксидів вуглецю, сірки й азоту. Саме цей перелік забруднювальних речовин входить до обов'язкової програми спостережень, уміст специфічних поллютантів (фенол, аміак, хлористий водень тощо) вимірюється факультативно на обмеженій кількості ПСЗ. Зауважимо, що через відсутність ПСЗ у межах Подільського і Дарницького районів індекс забруднення цих територіальних одиниць умовно прийнято за одиницю (середнє значення для столиці та суміжних ПСЗ).

Середньорічний індекс забруднення атмосфери Києва в цілому становить 5,55: такий показник вважається підвищеним. Основною забруднювальною речовиною є діоксид азоту, ваговий внесок якого до відповідного індексу перевищує 55 % – середньомісячне перевищення ГДК упродовж 2020 р. становило понад 200 %, у той час як уміст оксиду вуглецю та завислих частинок перебував у межах норми (0,43 та 0,67 від ГДК відповідно). Концентрації завислих речовин, оксиду азоту та вуглецю не мали яскраво вираженого річного ходу, натомість уміст діоксиду сірки з листопада до березня підвищувався більш ніж наполовину. Найбільш забрудненим виявився Святошинський район, що обумовлено розташуванням низки промислових підприємств та завантаженого автотранспортом проспекту Перемоги біля ПСЗ. Також під-

вищені показники забруднення фіксувалися у Шевченківському та Оболонському районах, натомість найчистіше повітря за даними вимірювань у Голосіївському районі, що пояснюється передусім розташуванням ПСЗ № 5 у "спальному" мікрорайоні, де відсутні шкідливі виробництва і автомобільні дороги значної пропускної здатності. Завдяки цьому концентрації основних забруднювачів були нижчими за ГДК у 4–5 разів. Однак слід зауважити, що результати вимірювань на окремих ПСЗ не повною мірою репрезентують загальний стан повітряного басейну міста, оскільки концентрації поллютантів можуть значно варіюватися на відстані до сотень метрів. Так, підгал Голосіївського лісу в середині квітня (Pidpal travy sprychunyv pozhezhu u Holosiivskomu parku: postrazhdaly tvaruny, 2020) спричинив багаторазове перевищення максимально-разових ГДК на ПСЗ біля проспекту Науки, у той час як на інших ПСЗ показники відповідали санітарно-гігієнічним нормам.

Що стосується інтегрального індексу комфортності проживання, то найвищий показник отримав Голосіївський район, який водночас найбільш забезпечений зеленими зонами в розрахунку на одну особу та має найменші показники забруднення атмосфери. До того ж, МЗЗ розміщені доволі рівномірно, більшість захищена природоохоронним законодавством. Друге місце у рейтингу посів Деснянський район, який є лідером за сумарною площею МЗЗ, а також має менші рівні забруднення повітря, ніж середні показники для міста. Однак МЗЗ сконцентровані лише у східній та західній острівній частині району, а в цілому їхній розподіл нерівномірний. Мешканці щільно забудованого мікрорайону "Вигурівщина – Троєщина" не мають належного доступу до зелених насаджень, тому планування нових МЗЗ має стати першочерговим завданням. Оболонський та Дарницький райони мають більш розвинену мережу зелених зон, однак забруднене атмосферне повітря знижує їхню рекреаційну привабливість. А незадовільний стан міських водоемів, нерівномірний розподіл зелених насаджень, унаслідок чого мікрорайони "Осокорки" та "Позняки" перетворилися на "сірі плями", вимагають проведення комплексних заходів із реновації та озеленення. Від'ємні значення інтегрального індексу, а отже і найнижчі сходи рейтингу, мають Шевченківський, Солом'янський та Печерський райони столиці, що є закономірним наслідком найнижчих позицій у рейтингу кожного з обчислених індексів. Маючи найвищі рівні забруднення атмосферного повітря та щільність населення, ці адміністративні райони характеризуються браком достатньої кількості зелених зон, а наявні перебувають у незадовільному стані через надмірне рекреаційне навантаження. Мешканці житлових масивів "Олександрівська Слобідка", "Відрадний" та "Виноградар" позбавлені пішого доступу до парків та скверів, а МЗЗ Печерського району переважно нежитлові, а саме є популярними у мешканців "спальних" районів і гостей столиці.

Таким чином, дослідження стану та розподілу міських зелених насаджень Києва виявило їхню значну віддаленість від найбільш населених житлових масивів, хоча доволі високі значення розрахованих індексів створюють ілюзію достатньої забезпеченості МЗЗ. Подальша оптимізація та зв'язність мережі зелених зон в умовах неминучого ущільнення забудованих територій є важливим завданням зменшення екологічного навантаження на міські екосистеми та підвищення комфортності урбанізованого середовища.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Стратегії планування компактних міст тісно пов'язані з концепцією зеленої інфраструктури, куди ідеа-

льно вписується парадигма інтеграції парків, лісових масивів та міських ПОТ в єдину мережу зелених зон, які, за умови оптимального співвідношення їхньої наявності, доступності та привабливості, можуть стати рушіями урбанізації. Однак хаотична міська забудова та відсутність чіткої планувальної стратегії призвели до скорочення показників озеленення Києва та втрати ним статусу найбільш зеленої столиці Європи. Міські зелені зони переважною більшістю районів сконцентровані у периферійній частині Києва, що свідчить про недостатню забезпеченість населення зеленою інфраструктурою. Необхідно розширювати існуючі та створювати нові зелені насадження в густо населених житлових масивах, а також у мікрорайонах, які межують із промисловими зонами. Керуючись принципами планування компактного та комфортного міста, потрібно закладати достатню площу зелених насаджень у процесі планування нових мікрорайонів та будівництва житлових комплексів. Перспективним напрямом подальших досліджень є розрахунок пішохідної та транспортної доступності жителів до зелених зон, обчислення просторового розподілу МЗЗ методом варіограм.

Важливо також перезапустити та вдосконалити систему державного моніторингу якості атмосферного повітря, обґрунтувати критерії вибору місць для облаштування ПСЗ, ураховуючи щільність населення, наявність елементів зеленої інфраструктури, історичні рівні забруднення тощо. Зважаючи на переважання автотранспорту й енергетичних об'єктів серед рухомих і стаціонарних джерел забруднення столиці, недоцільно проводити вимірювання лише у місцях найбільшої концентрації полугантів, у той час як у межах декількох сотень метрів уміст забруднювальних речовин може відрізнятися в десятки разів. Для фіксування максимальних значень і більш точного усереднення даних необхідно проводити вимірювання безперервно, а не у встановлені часові проміжки. Перегляду потребують і гігієнічні нормативи якості атмосферного повітря: замість ГДК корисніше застосовувати оцінку ризику, яка враховує не лише ймовірність одночасного шкідливого впливу одразу кількох речовин, але й кумулятивний канцерогенний, мутагенний вплив забруднювальних речовин.

#### References

- Artmann, M., Bastian, O., Grunewald, K., 2017. Using the Concepts of Green Infrastructure and Ecosystem Services to Specify Leitbilder for Compact and Green Cities – The Example of the Landscape Plan of Dresden (Germany). *Sustainability*. Vol. 9, № 2. DOI: 10.3390/su9020198
- Brambilla, M., Ronchi, S., 2016 The park-view effect: Residential development is higher at the boundaries of protected areas. *Science of The Total Environment*. Vol. 569-570. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.223
- Deveikienė V., 2018. Methodological guidelines for optimizing the interaction between landscape architecture and urban planning. *Scientific Journal of Latvia University of Life Sciences and Technologies. Landscape Architecture and Art*. Vol. 12, № 12. DOI: 10.22616/j.landarchart.2018.12.01

Global State of Metropolis 2020 – Population Data Booklet, 2020. Retrieved from: [https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/09/gsm-population-data-booklet-2020\\_3.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/09/gsm-population-data-booklet-2020_3.pdf)

Hryhorieva L. I., Tomilin Yu. A., Sukha N. O., 2018. Kompleksna otsinka zabrudnennia atmosfernoho povitria v misti Mykolaievi [Comprehensive assessment of air pollution in Mykolaiv]. *Ecological Sciences*. № 4(23). Retrieved from: <http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2018/4/6.pdf> (in Ukrainian)

Husqvarna Urban Green Space Index: Quantifying the greenness of global cities, 2020. Retrieved from: <https://www.hugsi.green>

Khoshtaria T. K., Chachava N. T., 2017. The planning of urban green areas and its protective importance in resort cities (case of Georgian resorts). *Annals of Agrarian Science*. Vol. 15, № 1. DOI: 10.1016/j.aasci.2017.05.009

Kotelnikova Yu. O., Chuhaï A. V., 2014. Dynamika zminy rivnia zabrudnennia atmosfery m. Odesa [Dynamics of changes in the level of atmospheric pollution of Odessa]. *The Culture of the Black Sea Peoples*. № 266. Retrieved from: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/92753/27-Kotelnikova.pdf?sequence=1> (in Ukrainian)

Kyiv – 225: Stratehiia ne Stratehichna, 2016 [Kyiv — 225: Strategy is not Strategic]. Retrieved from: [https://zn.ua/ukr/internal/kyiv-225-strategiya-ne-strategichna\\_.html](https://zn.ua/ukr/internal/kyiv-225-strategiya-ne-strategichna_.html) (in Ukrainian)

Lelieveld J., Pozzer A., Pöschl U., Fnaiss M., Haines A., Münzel T., 2020. Loss of life expectancy from air pollution compared to other risk factors: a worldwide perspective *Cardiovascular Research*. *Cardiovascular Research*. Vol. 116, № 11. DOI: 10.1093/cvr/cvaa025

Ljubljana – winner 2016 European Green Capital, 2016. Retrieved from: <https://ec.europa.eu/environment/europeangreencapital/wp-content/uploads/2013/02/ljubljana-2016-leaflet-web.pdf>

Pardo, D., 2019. Which are the 10 greenest cities in the world? Retrieved from: <https://www.smartcitylab.com/blog/urban-environment/these-are-the-10-greenest-cities-in-the-world/>

Pidpal travy sprychynyv pozhzhu u Holosiivskom parku: postrazhdaly tvaryny, 2020 [The burning of grass caused a fire in Holosiivskiy Park: animals were injured]. Retrieved from <https://www.poglyad.tv/pidpal-travy-sprychynyv-pozhezhu-u-golosiivskom-parku-postrazhdaly-tvaryny-foto-18/> (in Ukrainian)

Russo A., Cirella G. T., 2018. Modern Compact Cities: How Much Greenery Do We Need? *Int J Environ Res Public Health*. Vol. 15, № 10. DOI: 10.3390/ijerph15102180

Rychak N. L., Tabachna I. M., 2012. Tendentsii formuvannia rivnia zabrudnennia atmosfernoho povitria urbanizovanoho seredovyscha [Trends of forming urban environment's air pollution level]. *Man and Environment. Issues of Neoecology*. № 3-4. Retrieved from [http://journals.uran.ua/ludina\\_dov/article/view/22754/20380](http://journals.uran.ua/ludina_dov/article/view/22754/20380) (in Ukrainian)

Stan zabrudnennia u m.Kyievi i Kyivskii oblasti (shchomisichni), 2021 [State of pollution in Kyiv and Kyiv region (monthly)]. Retrieved from: [http://cgo-sreznivskiy.kyiv.ua/index.php?fn=k\\_zabrud&f=kyiv](http://cgo-sreznivskiy.kyiv.ua/index.php?fn=k_zabrud&f=kyiv) (in Ukrainian)

Tappert, S., Klöti, T., Drilling, M., 2018. Contested urban green spaces in the compact city: The (re-)negotiation of urban gardening in Swiss cities. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 170. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2017.08.016

Veinberga M., Zigmunde D., 2016. Aesthetics and Ecology in Planning of Urban Green Spaces of Latvia. *Scientific Journal of Latvia University of Life Sciences and Technologies. Landscape Architecture and Art*. Vol. 8, № 8. Retrieved from: [https://lflub.lu.lv/Raksti/Landscape\\_Architecture\\_Art/2016/VOL8/Latvia-Univ-Agricult\\_Landscape\\_Architecture\\_Art\\_VOL8\\_2016.pdf#page=44](https://lflub.lu.lv/Raksti/Landscape_Architecture_Art/2016/VOL8/Latvia-Univ-Agricult_Landscape_Architecture_Art_VOL8_2016.pdf#page=44)

World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization, 2020. Retrieved from: [https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/wcr\\_2020\\_report.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/wcr_2020_report.pdf)

Yakist atmosfernoho povitria: korotkyi opys Dyrektyv YeS ta hrafiku yikh vprovadzhennia, 2015 [Atmospheric air quality: brief description of EU Directives and timetable of their implementation]. Retrieved from <http://www.if.gov.ua/files/uploads/yakist%20atmosfernoho%20povitrya.pdf> (in Ukrainian)

Yakym zhe buty Kyievu? 2016 [What should Kyiv look like?]. Retrieved from: [https://zn.ua/ukr/internal/yakim-zhe-buti-kyievu\\_.html](https://zn.ua/ukr/internal/yakim-zhe-buti-kyievu_.html) (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 02.02.21

Ye. Tsyhanok, PhD Student

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

## ATMOSPHERIC AIR AND GREENNESS AS INDICATORS OF COMFORT OF A COMPACT CITY (BY EXAMPLE OF KYIV)

*The goal of the article is to study the geographical distribution and provision of urban green spaces to the residents of a large city on the example of Kyiv, assess the real state of green infrastructure, and reveal the relationship between air quality and comfort of living in some districts of the capital. To achieve this goal, we have analysed the compliance of Kyiv with the requirements of the compact sustainable city conception; and proposed an original method of substantiating the level of comfortable living, taking into consideration the air quality. According to the method we have evaluated the drawings of the effective Kyiv development Master plan and the one being elaborated, the regulatory documents of the Kyiv City Council, the registries of public recreation zones, OpenStreetMap and Google Map geospatial data and annual concentrations of main air pollutants of different Kyiv districts. Several thousand contours of all urban green spaces with an area of more than one hectare in Kyiv's cartographic base has been processed and a number of major indicators of the modern conditions of green infrastructure of Kyiv in all ten city districts have been calculated. Additionally, the average annual concentrations of main air pollutants and the Air Quality Index in different Kyiv districts have been calculated.*

*We have identified a number of significant shortcomings in the functioning of the state monitoring of atmospheric air pollution in Kyiv, and substantiated the criteria for placing the air quality monitoring stations and sensors for the efficient measuring the concentration of pollutants. Based on processing all significant indicators, such as Greenness Index, Green Space Provision Index, Air Quality Index, the administrative districts of Kyiv have been ranked to assess the level of comfortable and safe urban environment. We have calculated the integrated City comfort living Index that is based on important indicators of urban green spaces and allows to assess the complex state of the green infrastructure in Kyiv. It is also a key criterion of its compliance with modern requirements to the sustainable compact city. The analysis of the condition and distribution of urban green*

spaces has revealed their irregular distribution in the majority of districts and insufficient provision of green areas in the highest-density neighborhoods, despite their high Given the numerous shortcomings of the green infrastructure development in Kyiv (uneven territorial distribution, insufficient provision for the population), it is necessary to revise the legal framework in terms of geoeological assessment of all urban green spaces and their functions. Among the promising areas of further research, priority is given to determining the quality of green spaces, calculating the uniformity of their spatial distribution, pedestrian and transport accessibility for the city residents to the elements of green infrastructure, including protected areas. The relevance of the research is due to the fruitless search for the compromises between locally based densification, urban development and preservation of urban green structures, which leads to deterioration of air quality and general environmental condition of Kyiv, reducing its socio-economic development, increasing incidences of disease.

*Keywords:* urban green space, urban green infrastructure, urban environment, compact city conception, air quality, pollutants.

Е. Цыганок, асп.

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

## АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ И ОЗЕЛЕНЕНИЕ КАК ИНДИКАТОРЫ КОМФОРТНОСТИ КОМПАКТНОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ КИЕВА)

Целью статьи является исследовать пространственное распределение и обеспеченность зелеными зонами жителей большого города на примере Киева, оценить реальное состояние зеленой инфраструктуры, раскрыть взаимосвязь качества атмосферного воздуха и комфортности проживания в отдельных районах столицы. Для выполнения поставленной цели проанализировано соответствие Киева требованиям концепции устойчивого компактного города, предложена оригинальная методика обоснования степени комфортности проживания с учетом качества атмосферного воздуха. Для этого на картографическую основу нанесены контуры всех городских зеленых зон площадью от одного гектара и рассчитан ряд важных индикаторов состояния зеленой инфраструктуры столицы и её административных районов. Дополнительно вычислен среднегодовой уровень загрязнения воздушного бассейна столицы с последующим расчётом индекса качества атмосферного воздуха.

Выявлен ряд существенных недостатков функционирования государственной системы мониторинга качества атмосферного воздуха, обоснованы критерии размещения пунктов наблюдения и датчиков для оперативного измерения концентраций загрязняющих веществ. На основе рассчитанных индексов озеленения, обеспеченности зелеными зонами и качества атмосферного воздуха проведено ранжирование административных районов Киева для оценки степени комфортности и безопасности городской среды. Анализ распределения городских зеленых насаждений обнаружил их значительную удаленность от наиболее населенных жилых массивов, а также недостаточную обеспеченность зелеными зонами, несмотря на высокие показатели озеленения. Также идентифицированы приоритетные районы для планирования, расширения и оптимизации городских зеленых зон. Среди перспективных направлений дальнейших исследований приоритетными являются определение качественного состояния зеленых насаждений, вычисления равномерности их пространственного распределения, пешеходной и транспортной доступности населения города к элементам зеленой инфраструктуры, включая природоохранные территории. Актуальность темы исследования обусловлена безрезультатными поисками компромиссов между уплотнением городской застройки и сохранением зеленых зон, что приводит к ухудшению качества атмосферного воздуха и общего экологического состояния города, снижению уровня его социально-экономического развития, росту заболеваемости населения.

*Ключевые слова:* городские зеленые зоны; зеленые насаждения; урбанизированное пространство; концепция компактного города; качество атмосферного воздуха; загрязняющие вещества.