

ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНА ОЦІНКА КОМПОНЕНТІВ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ РІЗНИХ ЗА РІВНЕМ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТЕРИТОРІЙ МІСТА КИЄВА

Грига М.Ю.

Центр інноваційних досліджень Землі і космічного простору
вул. Гарматна, 42, 03067, м. Київ
marynhry@gmail.com

Забруднення повітря є комплексною проблемою, що спричиняє значні негативні наслідки для здоров'я людини та стану довкілля. Згідно з даними WHO понад 90% населення планети дихає повітрям, яке не відповідає встановленим нормам якості. Особливо ця проблема стосується урбанізованих територій, які є концентраторами антропогенної діяльності. Повітря Києва зазнає інтенсивного забруднення через вплив пересувних та стаціонарних джерел, які в межах Києва представлені нерівномірно та можуть мати суттєві відмінності при впливі на стан якості атмосферного повітря. Встановлення закономірностей розподілу та зв'язків між різними компонентами забруднення повітря в межах різних за рівнем антропогенного навантаження територій міста Києва було основною метою представленого дослідження.

Еколого-геохімічна оцінка компонентів забруднення атмосферного повітря в м. Києві проводилась на основі аналізу щоденних середньодобових концентрацій NO, NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, CO, та O₃ за 2023 рік. Дослідження показників проводились для 3-х станцій спостереження, дві з яких розташовані на територіях з високим рівнем антропогенного навантаження в межах Дарницького та Подільського районів Києва, а третя – поблизу паркової зони Голосіївського району. Аналіз отриманих даних проводився із використанням методів математичної статистики, кореляційного та факторного аналізу.

Було встановлено, що в межах усіх станцій спостереження середньорічні концентрації PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ є вищі в порівнянні з рекомендованими Всесвітньою організацією охорони здоров'я рівнями. Територія з меншим антропогенним навантаженням, яка розташована в межах Голосіївського району, характеризується меншим рівнем середньомісячних концентрацій PM₁₀, NO₂, NO, O₃, CO в порівнянні зі станціями спостереження Дарницького і Подільського районів. Правобережжя Києва відзначається нижчими показниками PM_{2,5} в порівнянні з Дарницьким районом столиці. Більшість компонентів забруднення атмосферного повітря характеризуються мінімальними рівнями концентрацій в теплу пору року. Виключенням є озон, максимальні концентрації якого спостерігаються влітку. В межах усієї території дослідження прослідковуються осінні максимуми концентрацій PM_{2,5}, PM₁₀ і CO протягом вересня, та NO протягом вересня і жовтня. Другий сезонний максимум, який прослідковується протягом березня, явно виражений для NO і CO в межах станцій спостереження з високим рівнем антропогенного навантаження, та не типовий для території з меншим антропогенним впливом. За результатами кореляційного і факторного аналізу було встановлено, що наявність зв'язків CO з NO та NO₂, а отже, спільна природа їх розподілу і змін, є характерною ознакою станцій спостереження, розташованих в межах територій з високим рівнем антропогенного навантаження. *Ключові слова:* забруднення повітря, Київ, оксиди азоту, тверді частинки, чадний газ, озон, кореляційний аналіз, факторний аналіз.

Ecological and geochemical assessment of air pollutants in Kyiv areas with varying anthropogenic impact. Hryha M.

Air pollution is a complex problem that creates significant negative consequences for human health and the environment. According to WHO data, over 90% of the world's population breathes air that does not meet established quality standards. This problem is particularly relevant for urbanized areas, which are centers of anthropogenic activity. Kyiv's air is significantly polluted by mobile and stationary sources, which are distributed unevenly throughout the city and have varying impacts on the atmospheric pollution level. This article focused on determining the patterns of distribution and the interrelationships between different components of air pollution across Kyiv's diverse areas, experiencing different levels of anthropogenic impact.

An ecological and geochemical evaluation of atmospheric pollutants in Kyiv was performed using daily average concentrations of NO, NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, CO, and O₃ collected during 2023. Data was gathered from three monitoring stations: two situated in areas with significant anthropogenic pressure within the Darnytskyi and Podilskyi districts of Kyiv, and a third located adjacent to the park area of the Holosiiivskyi district. The analysis of the obtained data was performed using methods of mathematical statistics, correlation, and factor analysis.

Our study found that at all monitoring stations, average yearly levels of PM₁₀, PM_{2,5} and NO₂ were higher than World Health Organization recommendations. Most pollutants were at their lowest levels during the warmer months, except for ozone, which peaked in the summer. Notably, the Holosiiivskyi district, with its lower level of anthropogenic influence exhibited lower average monthly concentrations PM₁₀, NO₂, NO, O₃ and CO compared to the Darnytskyi and Podilskyi districts. The right bank of Kyiv had lower PM_{2,5} levels than the Darnytskyi district. Seasonally, an autumn maximum was observed for most pollutants across all monitoring stations, specifically in September for PM_{2,5}, PM₁₀ and CO, and extending into October for NO. A second seasonal maximum, during March, is clearly expressed for NO and CO within the monitoring stations with a high level of anthropogenic load and is not typical for the area with a lower anthropogenic impact. Correlation and factor analyses revealed a strong link between CO, NO, and NO₂ indicating a common origin and changes at the stations in areas with high anthropogenic impact. *Key words:* air pollution, Kyiv, nitrogen oxides, particulate matter, carbon monoxide, ozone, correlation analysis, factor analysis.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Забруднення повітря є комплексною проблемою, що спричиняє значні негативні наслідки для здоров'я людини та стану довкілля. За даними Європейського агентства з навколишнього середовища (ЕЕА) і Всесвітньої організації охорони здоров'я (WHO), за останнє десятиліття забруднення повітря стало другою за масштабністю екологічною проблемою після зміни клімату [1]. Згідно з даними WHO понад 90% населення планети дихає повітрям, яке не відповідає встановленим нормам якості [2]. Навіть за консервативними оцінками, забруднення повітря скорочує середню тривалість життя в Європі майже на рік [3] та є чинником, що підвищує ризик серцево-судинних і респіраторних захворювань, алергічних реакцій, діабету, когнітивних порушень [4].

Серед усіх компонентів оксиди азоту (NO_2 , NO), діоксид сірки (SO_2), озон (O_3), оксиди вуглецю (CO , CO_2), тверді частинки (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) і леткі органічні сполуки (VOC) вважаються одними з найпоширеніших антропогенних забруднювачів повітря, спричинених інтенсивним дорожнім рухом, побутовим опаленням та місцевою промисловістю [5]. Проблема поширення цих компонентів особливо характерна для міських середовищ, які є концентраторами антропогенної діяльності [6].

Розміщення промислових підприємств, транспортних магістралей та житлових районів, а також мікрокліматичні умови і рельєф місцевості впливають на неоднорідний розподіл забруднювачів в атмосферному повітрі міст. Оскільки забруднюючі компоненти потрапляють в атмосферу з різних джерел, для аналізу впливу міської структури на концентрацію кожного з них, можуть знадобитися різні емпіричні характеристики [7]. Повітря Києва зазнає інтенсивного забруднення через вплив пересувних та стаціонарних джерел [8], які в межах міста представлені нерівномірно та можуть мати суттєві відмінності при впливі на стан якості атмосферного повітря.

Встановлення закономірностей розподілу та зв'язків між різними компонентами забруднення повітря в межах різних за рівнем антропогенного навантаження територій міста Києва є основною метою представленого дослідження.

Аналіз останніх досліджень. Якість атмосферного повітря урбанізованих територій є актуальним питанням, яке всебічно розглядається дослідниками різних країн. Серед основних напрямків досліджень протягом останніх декількох років можна виділити наступні: встановлення відмінностей забруднення повітря урбанізованих та неурбанізованих територій [9], оцінка ролі різних промислових видів діяльності при забрудненні повітря [10], оцінка впливу певних забруднюючих речовин на здоров'я населення [11, 12].

В Україні аналізу забруднення атмосферного повітря міських територій приділяється значна

увага. Серед останніх досліджень можемо акцентувати увагу на статтях, присвячених забрудненню атмосферного повітря Одеси [13], оцінці ризиків для здоров'я від техногенного навантаження на повітря Запоріжжя [14], та порівнянню рівнів забруднення твердими частинками різних за ступенем урбанізації територій Прикарпаття [15].

Дослідження стану атмосферного повітря Києва протягом останніх декількох років включали аналіз впливу твердих частинок на ризики для здоров'я населення [16] і оцінку систем моніторингу в місті [17, 18].

Територія дослідження і методи. Еколого-геохімічна оцінка компонентів забруднення атмосферного повітря в м. Києві проводилась на основі аналізу щоденних середньодобових концентрацій NO , NO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, CO , та O_3 за 2023 рік. Дані були отримані від Департаменту захисту довкілля та адаптації до зміни клімату виконавчого органу Київської міської ради (Київської міської державної адміністрації). Аналіз показників проводився для 3-х станцій спостереження, розташованих в різних районах міста Києва (Рис. 1).

Дві станції спостереження, розташовані в межах Дарницького (S1) та Подільського (S2) районів міста Києва, характеризуються значним комплексним антропогенним навантаженням, яке викликане близькістю розташування автодоріг та промислових об'єктів (Сміттєспалювального заводу «Енергія» для S1 і Станції теплопостачання № 2 для S2). Станція спостереження S3 розташована в межах території з мінімальним антропогенним навантаженням поблизу паркової зони в межах Голосіївського району м. Києва.

В процесі еколого-геохімічних досліджень був проведений аналіз середньорічних та середньомісячних концентрацій забруднюючих компонентів м. Києва. Зв'язки між різними показниками забруднення були досліджені із використанням кореляційного аналізу Пірсона та факторного аналізу мінімальних залишків з використанням методу обертання варімакс, згідно запропонованих методик [19-23], та з використанням підходів щодо аналізу антропогенних впливів на екосистеми через статистичні методи [24].

Новизна. В представленій статті вперше надана еколого-геохімічна оцінка та встановлені закономірності розподілу і зв'язків різних показників забруднення атмосферного повітря міста Києва в межах територій з різними рівнями антропогенного навантаження.

Викладення основного матеріалу. Почнемо аналіз забруднення повітря м. Києва з оцінки відповідності концентрацій досліджуваних компонентів сучасним критеріям безпеки. Розвиток систем моніторингу та нові дані щодо впливу якості повітря на здоров'я населення викликали необхідність перегляду лімітуючих рівнів безпечної концентрації

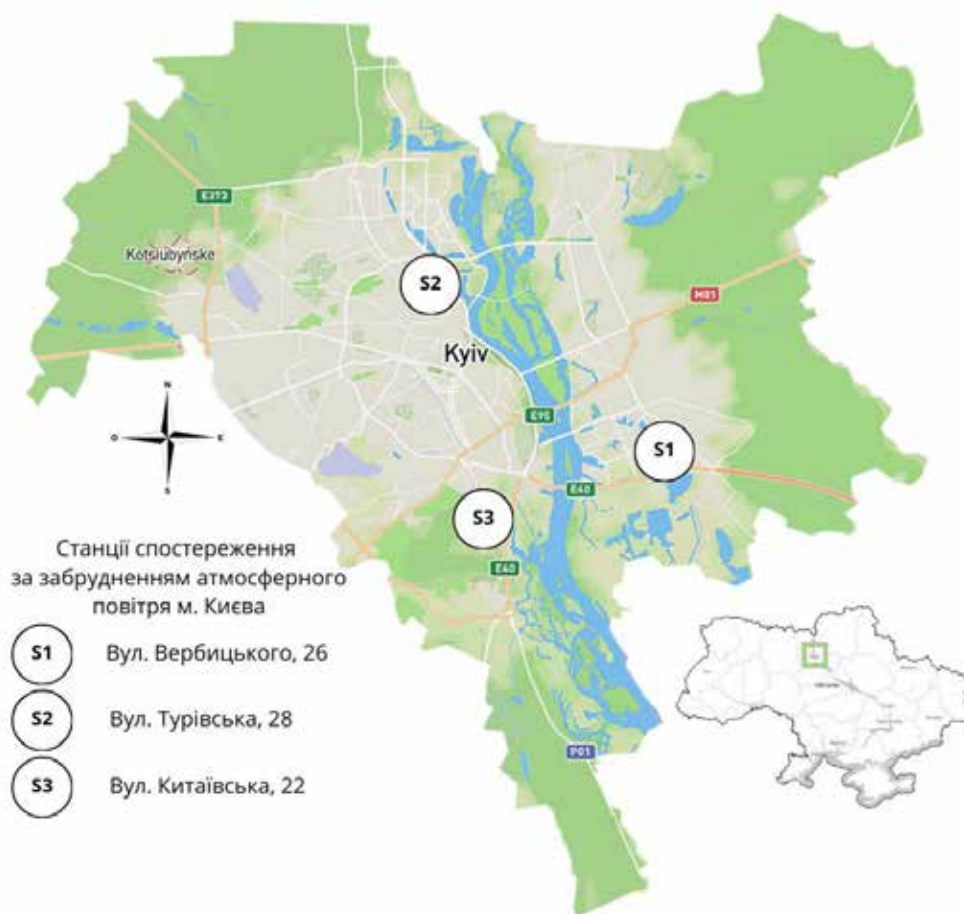


Рис. 1. Карта Києва з позначеними місцями розташування станцій спостереження за забрудненням атмосферного повітря

забруднюючих речовин в повітрі. Всесвітня організація охорони здоров'я (WHO) внесла суттєві зміни в рекомендовані рівні для різних забруднюючих компонентів в актуальному звіті від 2021 року [25] в порівнянні з 2005 роком [26]. Найбільших корекцій зазнали показники діоксиду азоту, рівень безпечних середньорічних концентрацій якого було запропоновано знизити в 4 рази [25].

В межах території дослідження, порівнюючи середньорічні концентрації забруднюючих речовин на усіх станціях спостереження з рекомендованими рівнями WHO (Таблиця 1), можемо відмі-

тити, що отримані дані PM_{10} в 1,4-1,5 раз більше за PM_{10} (AQG 2021), отримані дані $PM_{2.5}$ в 2,5-3,3 раз більше за $PM_{2.5}$ (AQG 2021), а NO_2 в 2,1-1,5 раз більше за NO_2 (AQG 2021). Концентрації PM_{10} і $PM_{2.5}$ є більшими як за рекомендовані рівні в 2021 році, так і в 2005, в той час як середньорічні концентрації NO_2 були нижчі за встановлені в 2005 році лімітуючі значення фактично в 2 рази.

Концентрації монооксиду вуглецю (чадного газу, CO) не є вищими за рекомендований WHO рівень для жодної зі станцій спостереження. Для озону не було можливості порівняти середньорічні значення,

Таблиця 1

Середньорічні показники забруднення в межах станцій спостереження S1-S3 за 2023 р. та рекомендовані рівні середньорічних показників забруднення WHO (AQG) за 2005 та 2021 роки

Р(мкг/м ³)	S1	S2	S3	AQG 2005	AQG 2021
PM10	22,7	21,3	20,7	20	15
PM2.5	16,3	12,7	13,1	10	5
NO	8,8	5,7	4,4	-	-
NO2	21,2	21,7	15,1	40	10
CO	275	297	266	-	4000
O3	47,6	47,3	45,9	-	60

оскільки методики розрахунку O_3 у WHO опирались на вимірювання концентрацій протягом 8-годинного періоду за добу, а у наведеній статті були використані дані середньодобових концентрацій за 24 години вимірювань.

Найбільші середньорічні перевищення PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 , O_3 характерні для станції спостереження S1, а перевищення NO та CO характерні для станції спостереження S2. За усіма показниками, крім $PM_{2,5}$ були встановлені найменші середньорічні концентрації на станції S3, яка розташована в межах території з мінімальним рівнем комплексного антропогенного навантаження.

З метою встановлення більш детальних закономірностей та відмінностей якості атмосферного повітря різних урбанізованих територій, був проведений аналіз середньомісячних показників забруднення повітря (Рис. 2). В межах усіх станцій спостереження для твердих частинок PM_{10} і $PM_{2,5}$, та частково O_3 щомісячні тренди змін протягом року співпадають, а відмінності простежуються в рівнях концентрацій, особливо в періоди максимального забруднення.

В межах станцій спостереження S1 та S2, розташованих на територіях з більшим рівнем антропогенного навантаження, для показників NO і CO спостерігались виражені мінімальні значеннями протягом періоду з квітня по липень, та два максимуми, перший з яких припадає на березень, а другий на осінній період. Для S3 в межах території з найменшим антропогенним навантаженням, відсутні весняний максимум концентрацій NO і весняний та осінній максимум концентрацій CO , а хід сезонних кривих NO і CO є більш плавним без вираженого мінімуму у весняно-літній період.

На усіх станціях спостереження $PM_{2,5}$ змінюється подібно до змін NO і CO в межах S1 і S2. Тут є характерним наявність мінімальних значень з квітня по липень та двох максимумів, у березні та вересні. Особливою відмінністю від інших забруднюючих компонентів є те, що станції на правобережжі Києва демонструють фактично однакові концентрації $PM_{2,5}$, в той час як для S1, розташованої на лівому березі, концентрації є вищими для кожного місяця. Такий характер перевищення може бути викликаний одночасним впливом дій антропогенних факторів та особливостями рельєфу і мікроклімату. Особливістю PM_{10} є наявність вираженого максимуму у вересні в межах усіх станцій спостереження. Максимальні концентрації тут характерні для S1, а найменші для S3. Відмітимо, що зростання концентрацій, які спостерігаються для більшості компонентів забруднення повітря протягом вересня, можуть свідчити про їх спільну природу і, ймовірно, виникають внаслідок пожеж, які були характерними для цього періоду в 2023 році в межах Київської та сусідніх областей, згідно даних інформаційного порталу NASA FIRMS.

Було виявлено, що для NO_2 характерні різні тренди сезонних змін та щомісячні відмінності в концентраціях показників в межах різних станцій спостереження. Концентрації NO_2 протягом кожного місяця є меншими на S3 в межах території з мінімальним антропогенним впливом. Озон O_3 має відмінні особливості сезонного розподілу в порівнянні з іншими вищеназваними компонентами. Він характеризується мінімальними показниками в холодну пору року з поступовим зростанням концентрацій до літа, максимальними значеннями в серпні і різким спадом до жовтня. У серпні його максимум середньомісячних концентрацій характерний для S1, а мінімум – для S3.

За результатами кореляційного аналізу Пірсона було встановлено, що між діоксидом азоту, оксидом азоту, твердими частинками і монооксидом вуглецю наявні додатні кореляційні зв'язки в межах усіх станцій спостереження (Таблиця 2). Озон показує значущі від'ємні кореляції з усіма іншими компонентами за виключенням PM_{10} , де коефіцієнти знаходяться за межею значущості. Тверді частинки PM_{10} і $PM_{2,5}$ характеризуються максимальними кореляційними показниками від $r=0,78$ до $r=0,88$ в межах усіх станцій спостереження. Сильні кореляційні зв'язки вказують на спільні риси щоденного розподілу твердих частинок різного діаметру та спільні джерела їх виникнення. Коефіцієнти кореляції вищі за 0,7 позначені в таблиці жирним шрифтом.

Основна відмінність S3 полягає в суттєво менших кореляційних зв'язках між CO та NO_2 і CO та NO в порівнянні з іншими станціями спостереження. Графічне відображення результатів кореляційного аналізу CO і NO у вигляді діаграм розсіювання можна побачити на Рис. 3. Для S3 характерне зростання середньодобових концентрацій CO при незначних змінах концентрацій NO , що впливає на відхилення графіка від лінійного тренду.

За результатами факторного аналізу (Таблиця 3) було встановлено 3 фактори для кожної станції спостереження, а отже три групи показників зі спільними трендами змін та природою виникнення. Для S1 та S2 факторні навантаження, які подібно до кореляційних коефіцієнтів можуть знаходитись в діапазоні від -1 до 1, характеризуються схожим розподілом. В Таблиці 3 факторні навантаження, які є більшими за 0,5 та меншими за -0,5 виділені жирним шрифтом та вважаються більш значущими в порівнянні з іншими. Перший фактор для S1 та S2 в основному відображає зв'язки та особливості одночасних змін NO , NO_2 , CO . Другий фактор об'єднує тверді частинки PM_{10} і $PM_{2,5}$, щоденні концентрації яких змінюються подібним чином протягом року, а третій фактор демонструє специфіку сезонного розподілу озону, який як у вираженні факторних навантажень, так і в кореляційних коефіцієнтах демонструє зворотні тренди сезонних змін в порівнянні з іншими компонентами забруднення атмосферного повітря.

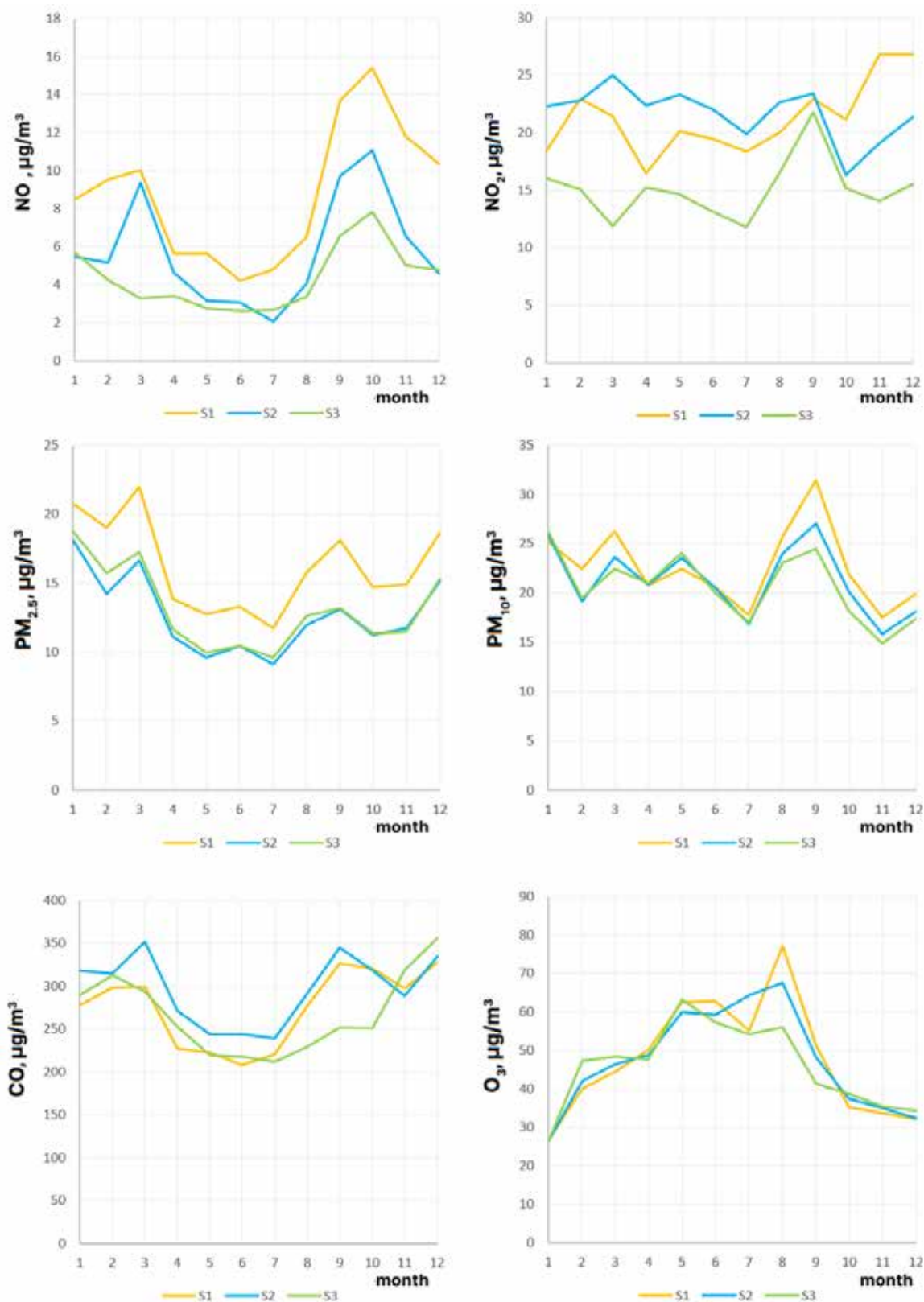


Рис. 2. Графіки розподілу середньомісячних концентрацій компонентів забруднення повітря м. Києва в межах станцій спостереження S1-S3 протягом 2023 року

Таблиця 2

Результати кореляційного аналізу
з коефіцієнтами кореляції Пірсона (r)
в межах станцій спостереження S1-S3

r(S1)	NO	NO ₂	CO	O ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀
NO	1,00					
NO ₂	0,70	1,00				
CO	0,87	0,77	1,00			
O ₃	-0,44	-0,36	-0,47	1,00		
PM _{2.5}	0,45	0,52	0,72	-0,32	1,00	
PM ₁₀	0,43	0,49	0,64	-0,08	0,88	1,00
r(S2)	NO	NO ₂	CO	O ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀
NO	1,00					
NO ₂	0,53	1,00				
CO	0,81	0,75	1,00			
O ₃	-0,40	-0,25	-0,50	1,00		
PM _{2.5}	0,42	0,55	0,71	-0,41	1,00	
PM ₁₀	0,39	0,57	0,58	-0,11	0,78	1,00
r(S3)	NO	NO ₂	CO	O ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀
NO	1,00					
NO ₂	0,64	1,00				
CO	0,53	0,53	1,00			
O ₃	-0,55	-0,43	-0,61	1,00		
PM _{2.5}	0,46	0,53	0,7	-0,44	1,00	
PM ₁₀	0,37	0,57	0,34	-0,15	0,78	1,00

Факторний аналіз дозволив виявити відмінності для S3 в порівнянні з іншими станціями спостереження, які відображені як в послідовності факторів, так і в групах компонентів, які вони об'єднують. Тут ми спостерігаємо групу твердих частинок в межах першого фактору, що є подібною до групи компонентів другого фактору, встановленого для S1 та S2. Другий фактор об'єднує CO, O₃ і PM_{2,5}, та відповідає особливостям характерних сезонних змін CO і PM_{2,5} зі зростанням в холодну пору року та спаданням в теплу та оберненими до них трендами змін O₃. Фактор 3 включає NO і NO₂, що є закономірним через їх природу, проте не включає CO, як це спостерігалось для першого фактора станцій спостереження S1 та S2.

Висновки. Забруднення повітря є комплексною проблемою, яка охоплює різні за ступенем антропогенного навантаження території м. Києва. В межах усіх станцій спостереження середньорічні концентрації PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ є вищі в порівнянні з рекомендованими Всесвітньою організацією охорони здоров'я рівнями.

Територія з меншим антропогенним навантаженням, яка розташована в межах Голосіївського району, характеризується меншим рівнем середньомісячних концентрацій PM₁₀, NO₂, NO, O₃, CO в порівнянні зі станціями спостереження в Дарницькому і Подільському районах, які зазнають більших нега-

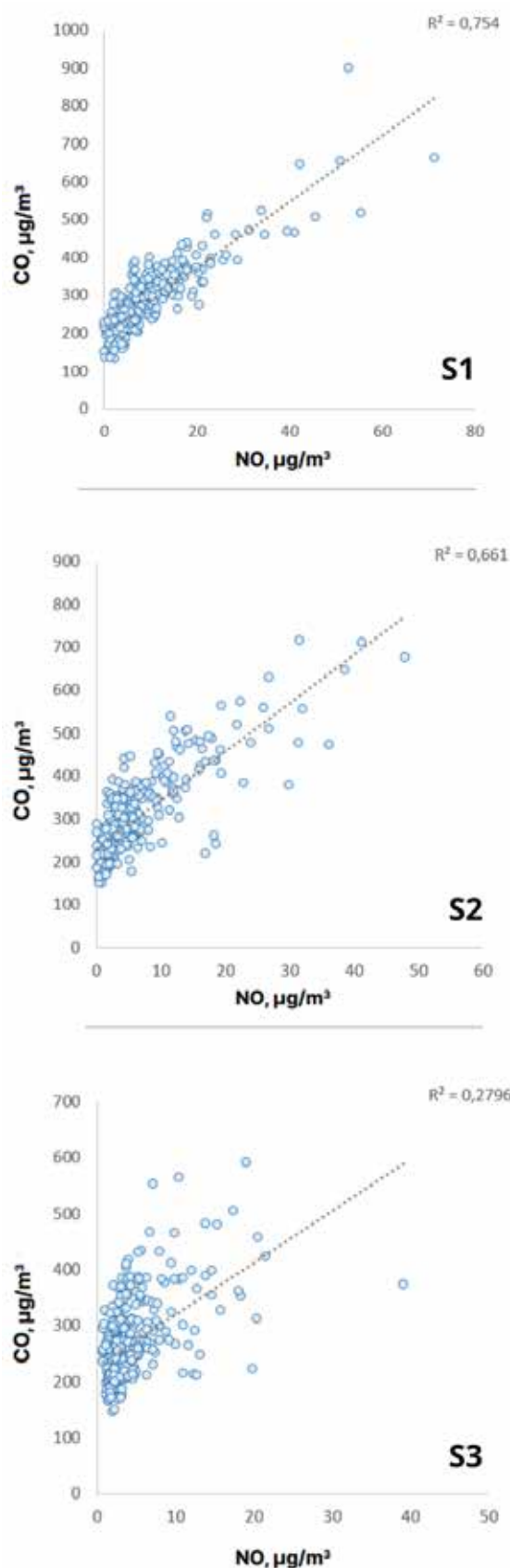


Рис. 3. Діаграми розсіювання NO і CO в межах станцій спостереження S1-S3 протягом 2023 року з позначеними лініями тренду та величинами достовірності апроксимації R²

**Результати факторного аналізу з показниками факторних навантажень
в межах станцій спостереження S1-S3**

Показник	S1			S2			S3		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
NO	0,85	0,18	0,28	0,73	0,16	0,31	0,17	0,37	0,71
NO ₂	0,67	0,31	0,22	0,62	0,43	0,08	0,39	0,26	0,66
CO	0,85	0,45	0,34	0,84	0,38	0,4	0,24	0,75	0,33
O ₃	-0,29	-0,05	-0,63	-0,24	-0,08	-0,67	0,01	-0,63	-0,43
PM _{2.5}	0,23	0,91	0,31	0,21	0,87	0,43	0,76	0,62	0,12
PM ₁₀	0,34	0,90	-0,11	0,35	0,83	-0,06	0,95	0,03	0,29

тивних впливів від промисловості та автотранспорту. Правобережжя Києва відзначається нижчими показниками PM_{2,5} в порівнянні з Дарницьким районом столиці.

Більшість компонентів забруднення атмосферного повітря характеризуються мінімальними рівнями концентрацій в теплу пору року. Виключенням є озон, максимальні концентрації якого спостерігаються влітку. В межах усієї території дослідження прослідковуються осінні максимуми концентрацій PM_{2,5}, PM₁₀ і CO протягом вересня, та NO протягом вересня

і жовтня. Другий сезонний максимум, який прослідковується протягом березня, явно виражений для NO і CO в межах станцій спостереження з високим рівнем антропогенного навантаження, та не типовий для території з меншим антропогенним впливом.

За результатами кореляційного і факторного аналізу було встановлено, що наявність зв'язків CO з NO та NO₂, а отже, спільна природа їх розподілу і змін, є характерною ознакою станцій спостереження, розташованих в межах території з високим рівнем антропогенного навантаження.

Література

- World Health Assembly, 71. Health, Environment and Climate Change: Report by the Director-General; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2018; Volume 2016, P 1–7 URL: <https://iris.who.int/handle/10665/276332>
- State of Global Air 2019. Special Report. Health Effects Institute, 2019, 22 p URL: https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/soga_2019_report.pdf
- Air Quality in Europe – 2016. European environment Agency, 2016, 83 p URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016>.
- Effects on health of air pollution: a narrative review / P. M. Mannucci et al. Internal and emergency medicine. 2015. Vol. 10, no. 6. P. 657–662. URL: <https://doi.org/10.1007/s11739-015-1276-7>
- Comprehensive evaluation of environmental air quality based on the entropy weights and concentration variation trends of pollutants / H. Zheng et al. Atmosphere. 2022. Vol. 13, no. 12. P. 1978. URL: <https://doi.org/10.3390/atmos13121978>
- Liang L., Gong P. Urban and air pollution: a multi-city study of long-term effects of urban landscape patterns on air quality trends. Scientific reports. 2020. Vol. 10, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74524-9>
- Rodríguez M. C., Dupont-Courtade L., Oueslati W. Air pollution and urban structure linkages: evidence from european cities. 2015. 29 p. URL: <https://doi.org/10.1787/5jrp6w9xlbq6-en>
- Сніжко С. І., Шевченко О. Г. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста. Київ : Вид-во геогр. літ. «Обрії», 2011. 297 с.
- Assessment of air pollution in different areas (urban, suburban, and rural) in Slovenia from 2017 to 2021 / M. Ivanovski et al. Atmosphere. 2023. Vol. 14, no. 3. P. 578. URL: <https://doi.org/10.3390/atmos14030578>
- Nakhjiri A., Kakroodi A. A. Air pollution in industrial clusters: a comprehensive analysis and prediction using multi-source data. Ecological informatics. 2024. P. 102504. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102504>
- Particulate matter concentrations around natural gas-fired power plants and their associated health impact assessment / M. Rahman et al. Journal of king saud university – science. 2024. P. 103270. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103270>
- Impact of nitrogen dioxide on health with particular emphasis on vulnerable groups / A. Ó. Domhnaill et al. Wexford, Ireland : Trinity College Dublin, 2023. 48 p.
- Бургаз О., Гарабазій Т., Тимошук М. Огляд стану забруднення атмосферного повітря міста Одеса за даними маршрутних спостережень. Екологічні науки. 2024. Т. 55, № 4. С. 16–21. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.4-55.2>
- Белоконь К., Мальований М., Тарабан Є. Оцінка ризику для здоров'я населення від техногенного навантаження на атмосферне повітря м. Запоріжжя. Екологічні науки. 2023. № 5. С. 30–36. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.5>
- Адаменко С., Архипова Л. Дослідження закономірностей змін PM_{2,5} та PM₁₀ в атмосферному повітрі Прикарпаття. Екологічна безпека та природокористування. 2024. Т. 51, № 3. С. 47–58. URL: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.3.47-58>
- Оцінка впливу забруднення атмосферного повітря PM_{2,5} на здоров'я населення Києва / О. Турос та ін. Environment and health. 2022. № 3 (104). С. 44–47. URL: <https://doi.org/10.32402/dovkil2022.03.044>
- Сагайдак Д., Боголюбов В. Аналіз систем моніторингу атмосферного повітря в місті Києві. Екологічні науки. 2024. Т. 1, № 1 (52). С. 51–58. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.1-52.1.7>

18. Системи моніторингу якості повітря в м. Києві / В. М. Радовенчик та ін. Системи моніторингу якості повітря в м. Києві. Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2022. № 1. С. 70–79. URL: <https://doi.org/10.20535/2617-9741.1.2022.254161>
19. Diez D. M., Cetinkaya-Rundel M., Barr C. D. OpenIntro statistics. 4th ed. 2022. 422 p. URL: <https://doi.org/10.19232/uv4pb.2016.2.90>
20. Asuero A. G., Sayago A., González A. G. The correlation coefficient: an overview. Critical reviews in analytical chemistry. 2006. Vol. 36, no. 1. P. 41–59. URL: <https://doi.org/10.1080/10408340500526766>
21. Harman H. H. Modern factor analysis. 2nd ed. Chicago : University of Chicago Press, 1967. 474 p.
22. Harman H. H., Jones W. H. Factor analysis by minimizing residuals (minres). Psychometrika. 1966. Vol. 31, no. 3. P. 351–368. URL: <https://doi.org/10.1007/bf02289468>
23. Kaiser H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika. 1958. Vol. 23, no. 3. P. 187–200. URL: <https://doi.org/10.1007/bf02289233>
24. Нрыга М. Ю. Evaluation of chemical indicators of anthropogenic influence in the Lower Danube basin. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology. 2024. No. 1 (71). P. 74–84. URL: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.1.7>
25. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva : World Health Organization, 2021. 273 p. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
26. Air Quality Guidelines Global Update. Geneva : World Health Organization, 2005. 484 p. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-PHE-OEH-06.02>