

ВПЛИВ ПОГОДНИХ ФАКТОРІВ НА ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МІСЬКИХ СЕРЕДОВИЩ

Анотація. Шляхом аналізу зібраних даних встановлено характер залежності концентрації основних поллютантів атмосферного повітря у правобережній частині міста Київ від базових погодних показників. Виявлено негативну кореляцію вмісту у повітрі твердих частинок зі швидкістю вітру та швидкістю поривів вітру. Зафіксована велика негативна кореляція запиленості повітря з опадами у вигляді дощу. Кореляція CO і SO₂ з величиною опадів помірна негативна.

Ключові слова: екологічна безпека, погодні фактори, урбанізована територія, коефіцієнт кореляції, концентрація поллютантів.

Багаточисельні дослідження, проведені вченими усього світу протягом останніх десятиліть, дозволили оцінити ризики для людей, спричинені забрудненням атмосферного повітря. Також у великій мірі з'ясовані механізми і наслідки впливу основних поллютантів на здоров'я людей. Є підстави вважати, що “універсальними” поллютантами атмосферного повітря є пилові (тверді) частинки. Таке визначення для них обґрунтовується тим, що вони у більшій або меншій концентрації фіксуються у повітрі будь-якої місцевості. Навіть, якщо на певній місцевості немає штучних джерел пилу, негативну роль можуть відігравати природні джерела цієї місцевості, або транскордонний перенос пилових мас з інших територій. Однак, якщо розглядати урбанізовані території, то основним джерелом походження поллютантів повітря є об'єкти антропогенного походження.

Метою дослідження було визначення закономірностей поширення та накопичення забруднюючих речовин у атмосферному повітрі на територіях великих міст України на прикладі правобережної частини міста Київ.

Дослідження проводилося шляхом збору, математичної обробки та аналізу даних про фактичне забруднення атмосферного повітря та погодні показники у місті Київ з відкритих джерел.

Обрання Києва у якості досліджуваного міста пов'язане головним чином з тим, що на його території розміщено близько ста станцій моніторингу (MS). Не всі вони характеризуються стабільною у часі роботою та необхідним переліком вимірюваних величин. Однак, у якості контрольних виявилось нескладно обрати десять станцій, котрі відносно рівномірно розташовані по правобережній частині міста та подають дані по необхідним поллютантам і погодним показникам (MS-1 – пр. Правди, 64г; MS-2 – вул. Оболонська Набережна, 7, к1; MS-3 – вул. Сирецька, 33; MS-4 – вул. Перемоги, 97; MS-5 – вул. Турівська, 28; MS-6 – вул. Карла Чапека, 11; MS-7 – вул. Героїв Севастополя, 3; MS-8 – вул. Якутська, 10; MS-9 – вул. Кахи Бендুকідзе, 2; MS-10 – вул. Князів Острозьких, 39а).

Розуміючи, що окрім природних факторів на вміст забруднювачів у повітрі суттєво впливає людська діяльність, збір даних носив циклічний характер і проводився з 0 годин понеділка до 24 години неділі. Тобто цикл спостережень –

повний тиждень. Це має сприяти врахуванню усіх можливих факторів людської діяльності, які також мають тижневий цикл. Дані фіксувалися з інтервалом у 1 годину. Тобто у одному циклі спостережень було 169 дослідних значень кожної величини. Кожного місяця проводився один тижневий цикл. Спостереження проводилося протягом одного року.

Концентрація твердих частинок фіксувалася на всіх десяти станціях моніторингу. Окрім того, на MS-1, MS-4 та MS-5 також з одногодинним інтервалом фіксувалися концентрації чадного газу та діоксиду сірки. У якості погодних факторів розглядалися температура повітря t (°C), вологість H (%), атмосферний тиск P (мм. рт. ст), швидкість вітру v (м/с), швидкість поривів вітру w (м/с), хмарність Cl (бали), опади R (мм).

Як з'ясувалося, для концентрації $PM_{2,5}$ та PM_{10} неможливо прослідкувати чіткої добової циклічності та явної залежності від погодних умов. Тому були застосовані методи статистичного аналізу – пошук кореляції між вмістом поллютантів у повітрі і погодними факторами. Для цього використовувався коефіцієнт Пірсона, який вимірює кореляцію між двома наборами даних [1]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

де n – розмір вибірки (для кожного циклу $n = 169$);

x_i, y_i – окремі точки вибірки;

\bar{x}, \bar{y} – середні значення.

Для того, щоб бути впевненими, що значення коефіцієнта Пірсона не є результатом випадкового збігу обставин, визначалося його критичне (порогове) значення $r_{кр}$ для рівня значущості 0,05. Оскільки розмір вибірки для всіх величин однаковий ($n = 169$), то ступінь свободи $df = n - 2 = 167$. Skorиставшись бібліотекою Python, отримано, що для $df = 167$ $r_{кр} = 0,151$. Отже, з імовірністю 95% значення $|r| > 0,151$ не є результатом випадковості, а свідчать про наявність статистично значущого зв'язку.

У якості прикладу в таблицях 1 і 2 наведені результати для коефіцієнта Пірсона, розраховані щодо показників MS-10. Для кожної пори року, приведеним у таблиці парам фізичних величин, відповідає три значення r (по одному для кожного місяця). Розгляд отриманих результатів дозволяє констатувати сильну позитивну кореляцію між $PM_{2,5}$ та PM_{10} , що цілком збігається з результатами інших авторів [2, 3] та є очікуваним, зважаючи на те, що $PM_{2,5}$ є складовою PM_{10} .

Як і в [3] для землі Баден-Вюртемберг (Німеччина), достовірної та однозначної залежності концентрації $PM_{2,5}$ та PM_{10} від температури повітря не виявлено. Разом з тим, у [4] для Західної Бенгалії така залежність зафіксована з $r = -0,605$. Очевидно, що така невідповідність може бути пов'язана опосередкованим впливом погодних умов. В Індії при зменшенні температури збільшується використання дров, яке при спалюванні є джерелом твердих частинок, а в європейських містах такого причинно-наслідкового зв'язку немає. Так само, значне зменшення тиску в умовах субтропічного мусонного клімату Бангладеш [2] і частини території Китаю [5] призводить до підвищення вірогідності опадів і відповідно до ймовірного зменшення кількості поллютантів у повітрі. У помірному кліматі коливання атмосферного тиску значно менше і не завжди призводить до опадів, тому кореляція його з забрудненням однозначно не встановлена.

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції для MS10 по PM_{2,5} та PM₁₀ з погодними показниками (частина 1)

	PM ₁₀	PM _{2,5}	Температура	Вологість	Тиск	
03-09.06.2024 / 08-14.07.2024 / 12-18.08.2024						
PM ₁₀	X	0,932	-0,103	0,084	0,364	
	X	0,943	-0,086	0,179	-0,477	
	X	0,959	-0,113	-0,137	-0,543	
PM _{2,5}	0,932	X	-0,249	0,255	0,348	
	0,943	X	-0,106	0,275	-0,427	
	0,959	X	-0,283	0,042	-0,607	
09-15.09.2024 / 14-20.10.2024 / 04-10.11.2024						
PM ₁₀	X	0,838	-0,119	0,151	-0,124	
	X	0,951	-0,732	0,693	-0,007	
	X	0,980	0,424	0,018	0,112	
PM _{2,5}	0,838	X	-0,209	0,339	-0,249	
	0,951	X	-0,848	0,839	-0,123	
	0,980	X	0,416	0,131	0,156	
16-22.12.2024 / 13-19.01.2025 / 10-16.02.2025						
PM ₁₀	X	0,963	-0,326	-0,380	0,356	
	X	0,959	-0,099	-0,651	-0,264	
	X	0,939	0,334	-0,137	0,138	
PM _{2,5}	0,963	X	-0,408	-0,189	0,281	
	0,959	X	-0,071	-0,503	-0,265	
	0,939	X	0,172	0,106	0,249	
10-16.03.2025 / 14-20.04.2025 / 12-18.05.2025						
PM ₁₀	X	0,978	0,278	-0,321	0,025	
	X	0,942	-0,124	0,341	-0,305	
	X	0,893	0,432	-0,601	0,023	
PM _{2,5}	0,978	X	0,209	-0,201	0,002	
	0,942	X	-0,325	0,533	-0,178	
	0,893	X	0,227	-0,326	-0,034	
03-09.06.2024 / 08-14.07.2024 / 12-18.08.2024						
PM ₁₀	X	0,932	-0,012	-0,483	0,260	-0,108
	X	0,943	0,370	0,067	0,067	-0,009
	X	0,959	-0,254	-0,466	0,050	0,089
PM _{2,5}	0,932	X	0,056	-0,523	0,206	-0,202
	0,943	X	0,374	0,153	-0,166	-0,039
	0,959	X	-0,354	-0,602	0,051	-0,011

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції для MS10 по PM_{2,5} та PM₁₀ з погодними показниками (частина 2)

	PM ₁₀	PM _{2,5}	Швидкість вітру	Швидкість поривів вітру	Напрямок вітру	Хмарність

03-09.06.2024 / 08-14.07.2024 / 12-18.08.2024						
PM ₁₀	X	0,932	-0,012	-0,483	0,260	-0,108
	X	0,943	0,370	0,067	0,067	-0,009
	X	0,959	-0,254	-0,466	0,050	0,089
PM _{2,5}	0,932	X	0,056	-0,523	0,206	-0,202
	0,943	X	0,374	0,153	-0,166	-0,039
	0,959	X	-0,354	-0,602	0,051	-0,011
09-15.09.2024 / 14-20.10.2024 / 04-10.11.2024						
PM ₁₀	X	0,838	-0,092	-0,106	0,002	0,236
	X	0,951	-0,412	-0,619	0,120	0,336
	X	0,980	-0,175	-0,175	-0,078	-0,351
PM _{2,5}	0,838	X	-0,251	-0,282	-0,085	0,296
	0,951	X	-0,474	-0,754	0,079	0,321
	0,980	X	-0,209	-0,210	-0,056	-0,387
16-22.12.2024 / 13-19.01.2025 / 10-16.02.2025						
PM ₁₀	X	0,963	-0,246	-0,486	-0,078	0,163
	X	0,959	-0,028	-0,062	-0,013	-0,012
	X	0,939	-0,046	-0,146	-0,061	0,169
PM _{2,5}	0,963	X	-0,309	-0,567	-0,093	0,172
	0,959	X	-0,020	-0,102	-0,041	0,019
	0,939	X	-0,067	-0,218	-0,117	0,232
10-16.03.2025 / 14-20.04.2025 / 12-18.05.2025						
PM ₁₀	X	0,978	-0,094	-0,263	0,024	-0,215
	X	0,942	-0,245	-0,440	0,053	-0,285
	X	0,893	0,114	0,360	-0,009	-0,463
PM _{2,5}	0,978	X	-0,135	-0,313	0,017	-0,197
	0,942	X	-0,248	-0,456	0,038	-0,208
	0,893	X	0,059	0,239	-0,006	-0,352

Дослідження дозволили констатувати: слабку/помірну негативну кореляцію запиленості повітря зі швидкістю вітру та помірну/велику негативну кореляцію зі швидкістю поривів вітру, а також відсутність кореляції з його напрямком; неможливість встановити кореляції запиленості повітря з атмосферним тиском, вологістю, хмарністю та температурою; дуже велику негативну кореляцію запиленості повітря з величиною опадів у вигляді дощу (числові дані щодо кореляції з величиною опадів у таблицях не наведені).

Встановлено чітку добову циклічність концентрації чадного газу в атмосферному повітрі та дуже велику кореляцію між різними, навіть віддаленими, районами міста за цим показником, а також кореляцію (від помірної до дуже великої) концентрації чадного газу із запиленістю повітря. Такий результат свідчить про існування спільних антропогенних джерел чадного газу і твердих частинок. Кореляція концентрації чадного газу з величиною опадів негативна помірна.

Встановлено відсутність добової циклічності концентрації діоксиду сірки в атмосферному повітрі та кореляція (від помірної до дуже великої) між різними районами міста за цим показником, а також відсутність кореляції концентрацій

діоксиду сірки з чадним газом та запиленістю. Кореляція з величиною опадів негативна (від помірної до дуже великої).

Таким чином, отримані результати та їх порівняння з аналогічними даними для інших урбанізованих територій світу свідчить, що зміна одного й того ж погодного фактору для різних регіонів може мати не тільки різний кількісний, а і різний якісний вплив на екологічну безпеку повітря. Це пов'язано з тим, що вплив може бути як прямим, так і опосередкованим, коли зміна погоди призводить до збільшення або зменшення антропогенного навантаження. Тому автоматичне поширення закономірностей, виявлених для мегаполісів у одних країнах (регіонах), на мегаполіси інших країн (регіонів) може призвести до помилкових висновків.

Список використаної літератури

1. Hinkle, D. E., Wiersma, W., & Jurs, S. G. (2003). *Applied statistics for the behavioral sciences* (Vol. 663). Boston: Houghton Mifflin. <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/1944963>
2. Khan, R. H., Quayyum, Z., & Rahman, S. (2023). A quantitative assessment of natural and anthropogenic effects on the occurrence of high air pollution loading in Dhaka and neighboring cities and health consequences. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(12), 1509. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-023-12046-3?fromPaywallRec=false>
3. Hoffmann, L., Gilardi, L., Schmitz, M. T., Erbertseder, T., Bittner, M., Wüst, S., ... & Rittweger, J. (2024). Investigating the spatiotemporal associations between meteorological conditions and air pollution in the federal state Baden-Württemberg (Germany). *Scientific Reports*, 14(1), 5997. <https://www.nature.com/articles/s41598-024-56513-4>
4. Ghosh, B., Barman, H. C., & Padhy, P. K. (2023). Analysis of spatiotemporal distribution of air quality index (AQI) in the state of West Bengal, India from 2016 to 2021. *Discover Atmosphere*, 1(1), 1. <https://link.springer.com/article/10.1007/s44292-023-00001-3>
5. Liu, Y., Zhou, Y., & Lu, J. (2020). Exploring the relationship between air pollution and meteorological conditions in China under environmental governance. *Scientific reports*, 10(1), 14518. <https://www.nature.com/articles/s41598-020-71338-7?fromPaywallRec=false>