

УДК 502.3:551.5(477.42)

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.10>

## ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН У ПОВІТРЯНОМУ БАСЕЙНІ МІСТА ЖИТОМИР

Кагукіна А.М., Пацева І.Г.

Державний університет «Житомирська політехніка»

вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир

ke\_kham@ztu.edu.ua

У статті досліджено взаємозв'язок між метеорологічними параметрами та концентраціями забруднюючих речовин у повітряному басейні міста Житомир. Аналіз взаємозв'язку між температурою повітря та рівнем забруднюючих речовин є ключовим для розуміння механізмів формування та динаміки забруднення. На основі статистичного аналізу та оцінки кореляційних залежностей встановлено характер впливу температури повітря на концентрації різних забруднювачів. Виявлено позитивну кореляцію між концентрацією СО та температурою повітря ( $r = 0,30$ ), що вказує на тенденцію до збільшення вмісту СО при підвищенні температури. При цьому найбільша варіативність концентрацій СО спостерігається в діапазоні температур від  $0^{\circ}\text{C}$  до  $20^{\circ}\text{C}$ , що пов'язано з повсякденною активністю міста. Для  $\text{NH}_3$  виявлено слабку позитивну кореляцію ( $r = 0,03$ ), що свідчить про незначний вплив температури на концентрацію цієї речовини. Незначну негативну кореляцію виявлено між температурою та концентрацією  $\text{NO}_2$  ( $r = -0,08$ ), що пояснюється інтенсифікацією викидів у холодний період року та особливостями атмосферних процесів, зокрема температурною інверсією. Дослідження дрібнодисперсних частинок показало наявність негативних кореляційних зв'язків з температурою для  $\text{PM}_{1.0}$  ( $r = -0,26$ ),  $\text{PM}_{2.5}$  ( $r = -0,33$ ) та  $\text{PM}_{10}$  ( $r = -0,31$ ). Ці залежності відображають сезонну специфіку забруднення та вплив метеорологічних умов на процеси розсіювання частинок. Зафіксовано підвищені концентрації дрібнодисперсних частинок при низьких температурах, що пов'язано з появою додаткових джерел викидів у зимовий період та особливостями атмосферних процесів.

Виявлені закономірності мають важливе практичне значення для розробки ефективних заходів з управління якістю повітря в місті. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення системи моніторингу атмосферного повітря, прогнозування рівнів забруднення при різних температурних умовах та планування природоохоронних заходів з урахуванням сезонних особливостей та метеорологічних факторів. Отримані дані також важливі для оцінки потенційних ризиків для здоров'я населення та розробки превентивних заходів щодо зменшення негативного впливу забруднюючих речовин. *Ключові слова:* метеорологічні параметри, забруднюючі речовини, температура повітря, атмосферне повітря, громадське здоров'я, кореляційні залежності, моніторинг якості повітря, СО,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{1.0}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ .

### Interrelation between meteorological parameters and pollutants in the air of Zhytomyr city. Kahukina A., Patseva I.

The article investigates the relationship between meteorological parameters and concentrations of pollutants in the air of Zhytomyr city. The analysis of the relationship between air temperature and pollutant levels is key to understanding the mechanisms of pollution formation and dynamics. Based on the statistical analysis and evaluation of correlation dependencies, the nature of the influence of air temperature on the concentrations of various pollutants is determined. A positive correlation between the CO concentration and air temperature ( $r = 0,30$ ) was found, indicating a tendency to increase the CO content with increasing temperature. At the same time, the greatest variability in CO concentrations is observed in the temperature range from  $0^{\circ}\text{C}$  to  $20^{\circ}\text{C}$ , which is associated with the daily activity of the city. A weak positive correlation ( $r = 0,03$ ) was found for  $\text{NH}_3$ , which indicates that temperature has little effect on the concentration of this substance. A slight negative correlation was found between temperature and  $\text{NO}_2$  concentration ( $r = -0,08$ ), which is explained by the intensification of emissions in the cold season and the peculiarities of atmospheric processes, in particular, temperature inversion. The study of fine particles showed the presence of negative correlations with temperature for  $\text{PM}_{1.0}$  ( $r = -0,26$ ),  $\text{PM}_{2.5}$  ( $r = -0,33$ ) and  $\text{PM}_{10}$  ( $r = -0,31$ ). These dependencies reflect the seasonal specificity of pollution and the influence of meteorological conditions on the processes of particle dispersion. Increased concentrations of fine particles at low temperatures were recorded, which is associated with the emergence of additional sources of emissions in winter and the features of atmospheric processes.

The identified patterns are of great practical importance for the development of effective measures to manage air quality in the city. The results of the study can be used to improve the air monitoring system, predict pollution levels at different temperature conditions, and plan environmental protection measures taking into account seasonal features and meteorological factors. The data obtained are also important for assessing potential risks to public health and developing preventive measures to reduce the negative impact of pollutants. *Key words:* meteorological parameters, pollutants, air temperature, atmospheric air, public health, correlation dependencies, air quality monitoring, CO,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{1.0}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$ .

**Постановка проблеми.** Забруднення атмосферного повітря в міських умовах є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності [1]. Особливої уваги потребує дослідження взаємозв'язку між метеорологічними параметрами та концентраціями забруднюючих речовин, оскільки це дозволяє краще розуміти механізми формування та розповсюдження забруднень у повітряному басейні міста. Місто

Житомир, як промисловий та транспортний центр, потребує детального вивчення цих взаємозв'язків для розробки ефективних заходів з покращення якості атмосферного повітря.

**Актуальність дослідження.** У сучасних умовах інтенсивної урбанізації та зростання антропогенного навантаження на довкілля особливої актуальності набуває дослідження якості атмосферного

повітря у містах та факторів, що впливають на його стан. Вивчення взаємозв'язку метеорологічних параметрів та забруднюючих речовин у повітряному басейні міста Житомир є актуальним оскільки розуміння впливу температурних показників на концентрації різних забруднювачів, а саме  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$  [2-3],  $\text{PM}_{1.0}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{10}$  дозволяє створити ефективну систему прогнозування потенційних ризиків для здоров'я населення та розробити комплекс превентивних заходів. Це особливо важливо для вразливих груп населення, які найбільше потерпають від забруднення атмосферного повітря. Виявлення кореляційних залежностей між метеорологічними умовами та рівнем забруднення має практичне значення для удосконалення системи екологічного моніторингу та оптимізації мережі спостережень за якістю повітря. Дослідження взаємозв'язку метеорологічних параметрів та забруднюючих речовин дозволяє краще розуміти процеси формування та розсіювання забруднень у міському середовищі в умовах зміни клімату [4], що є необхідним для розробки ефективних заходів з покращення якості атмосферного повітря та захисту здоров'я населення [5].

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідження взаємозв'язку метеорологічних параметрів та забруднюючих речовин у повітряному середовищі міст є актуальним напрямком наукових досліджень, якому присвячено роботи вітчизняних та закордонних вчених [6-11]. Якість повітря в міських районах з часом погіршується через збільшення рівня розподілу забруднюючих речовин,

головним чином через антропогенну діяльність [8]. Атмосферні елементи взаємодіють із забруднювачами складними, багатовимірними способами, впливаючи на якість повітря [7]. Однак, особливості впливу метеорологічних параметрів на забруднення атмосферного повітря в конкретних міських умовах потребують додаткового вивчення, враховуючи локальні кліматичні особливості та специфіку джерел забруднення.

**Виклад основного матеріалу.** Проведено дослідження взаємозв'язку між температурними показниками та концентраціями забруднюючих речовин в атмосферному повітрі м. Житомира на основі статистичного аналізу спостережень [12-18] та оцінки їх кореляційних залежностей. Таким чином, було виявлено важливі закономірності, що дають можливість створити якісні рекомендації для покращення якості атмосферного повітря міста.

Було виявлено (Рис. 1) позитивну кореляцію між концентрацією  $\text{CO}$  та температурою  $r = 0,30$ , що вказує на збільшення концентрації  $\text{CO}$  в повітрі та підвищенні температури. Таку тенденцію можна пояснити збільшенням температури повітря при збільшенні концентрації  $\text{CO}$  в атмосферному повітрі міста. Оскільки, коефіцієнт кореляції  $r = 0,30$ , це вказує на слабку позитивну кореляцію. Зв'язок між температурою та концентрацією  $\text{CO}$  існує, але він не є сильним. При низьких температурах від  $-10^\circ\text{C}$  до  $0^\circ\text{C}$  фіксуються низькі концентрації  $\text{CO}$ , також спостерігається менша розсіяність даних, що пов'язано зі зменшеною активністю джерел викидів

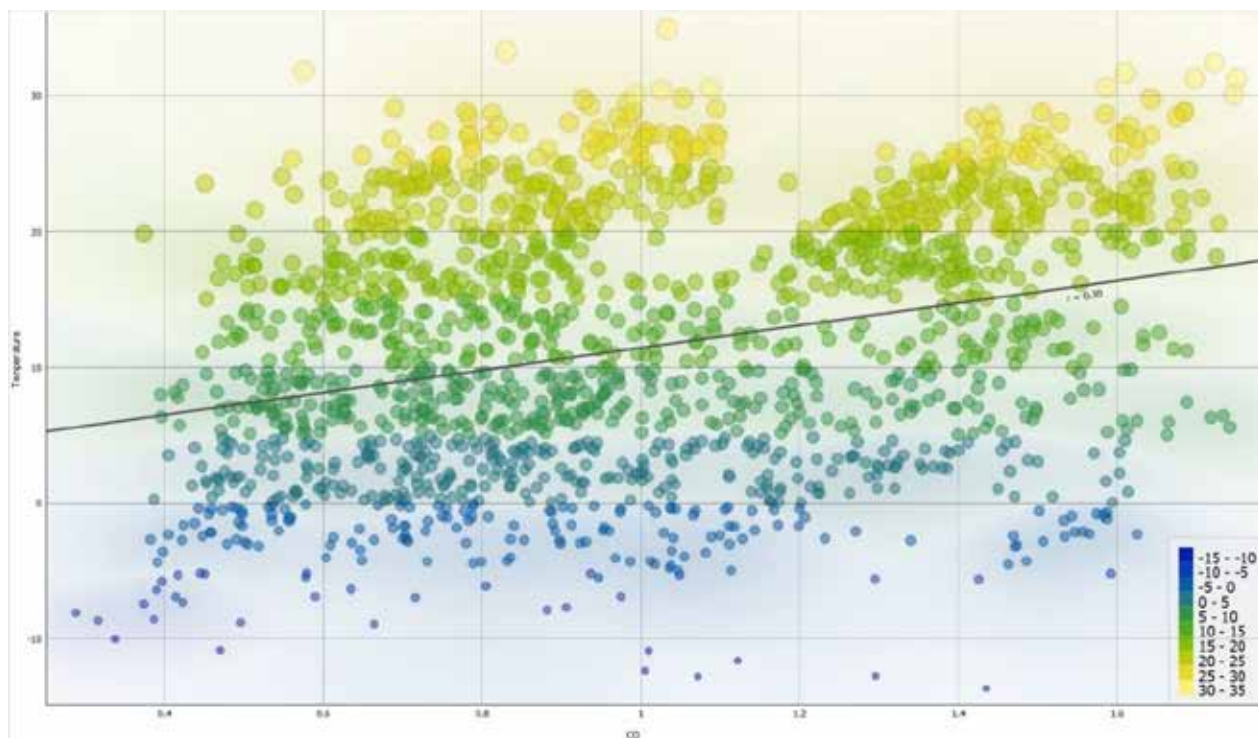


Рис. 1. Температурна динаміка  $\text{CO}$

та кращими умовами для розсіювання забруднень. В діапазоні температур від 0°C до 20°C зафіксовано найбільшу варіативність концентрацій CO, що є типовим явищем для умов міського середовища, через вплив повсякденної активності міста. Досліджено, що підвищені концентрації CO, переважно фіксовані при температурах повітря від 20°C до 35°C. Зумовленість збільшення розкиду концентрацій CO пояснюється, явищем інтенсифікацією міської активності. Підвищення температури може призводити до зміни швидкості хімічних реакцій в атмосфері, формування застійних явищ, можливе утворення острова тепла в місті. Високі температури збільшують ризик формування смогу.

На (Рис. 2) спостерігається слабка позитивна кореляція  $r = 0.03$  між концентрацією  $\text{NH}_3$  та температурою повітря. Таким чином, лінія регресії має незначний позитивний нахил. При низьких температурах, а саме від -10°C до 0°C спостерігається низька концентрація  $\text{NH}_3$ . При температурі 20-35°C є тенденція до збільшення концентрації  $\text{NH}_3$ . При дослідженні залежностей, також було виявлено, що як при низьких температурах, так і при високих температурах повітря можливі значні викиди  $\text{NH}_3$ . Виявлена слабка кореляція вказує, що температура повітря не є визначальним фактором концентрації  $\text{NH}_3$ . Причинами появи викидів  $\text{NH}_3$  в атмосферне повітря міста можуть бути промислові викиди, транспортне навантаження, сільськогосподарська діяльність поблизу міста. В таких умовах підвищені

концентрації  $\text{NH}_3$  можуть призводити до погіршення якості повітря, утворення вторинних забруднювачів, негативного впливу на здоров'я населення, закислення опадів та порушення екологічного балансу міських екосистем.

При дослідженні залежностей концентрації  $\text{NO}_2$  та температури повітря (Рис. 3) було виявлено незначну негативну кореляцію  $r = -0.08$ . При збільшенні температури навколишнього середовища кількість  $\text{NO}_2$  знижується. В зимовий період підвищені концентрації  $\text{NO}_2$  можуть свідчити про опалення будинків, довший час роботи двигунів автомобілів. При низьких температурах повітря спостерігається температурна інверсія, яка є перешкодою для розсіювання  $\text{NO}_2$ . Таким чином, хімічні реакції розпаду  $\text{NO}_2$  взимку є повільнішими. В літній період зниження концентрації  $\text{NO}_2$  може забезпечуватися, за рахунок кращого вертикального перемішування повітря та активнішими фотохімічними реакціям розпаду  $\text{NO}_2$ . Також, зменшення рівня  $\text{NO}_2$  може відбуватися за рахунок більш інтенсивній вегетації рослин, які поглинають  $\text{NO}_2$ . Відповідно до виявленої закономірності, можна прогнозувати підвищений ризик респіраторних захворювань взимку та більше навантаження на вразливі групи населення в холодний період. Оскільки в зимовий період спостерігається підвищене навантаження на екосистему міста є ризик кислотних опадів. При певних погодних умовах можливе формування смогу. Все це буде мати вплив на біорізноманіття міста.

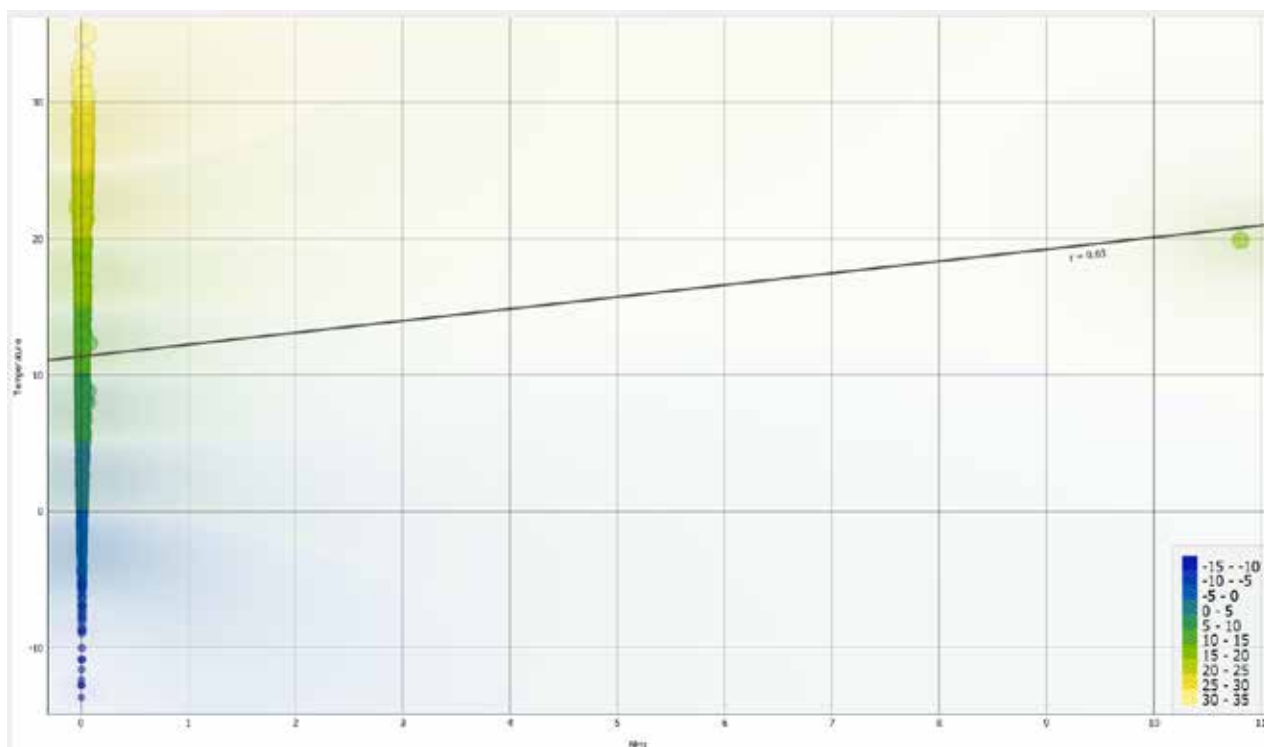
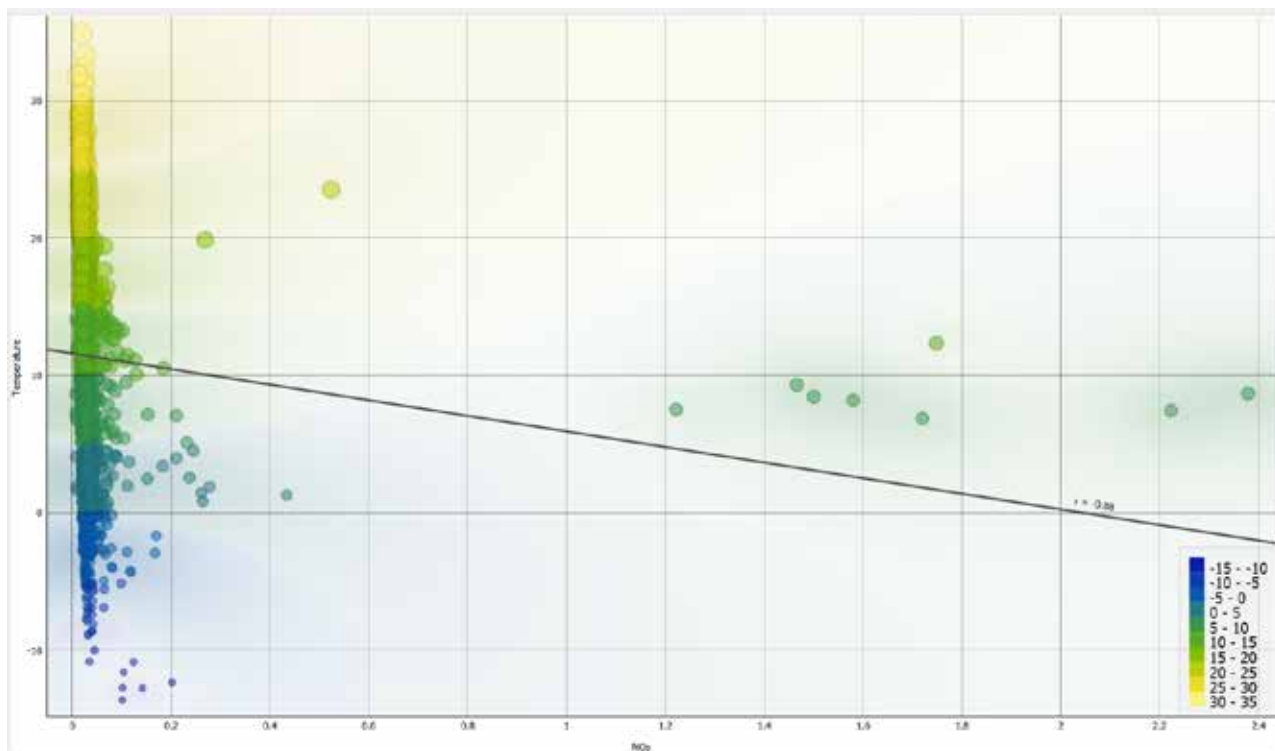


Рис. 2. Температурна динаміка  $\text{NH}_3$

Рис. 3. Температурна динаміка  $\text{NO}_2$ 

На (Рис. 4) спостерігається негативна кореляція  $r = -0,26$  між температурою повітря та концентрацією  $\text{PM}_{1.0}$ . Збільшені концентрації  $\text{PM}_{1.0}$  зафіксовані при низькій температурі повітря. Концентрації  $\text{PM}_{1.0}$  варіюються від 0 до  $100 \text{ мкг/м}^3$ . Зафіксовано випадки високих концентрацій більше  $50 \text{ мкг/м}^3$ , що вказує на ситуації, які потребують особливої уваги. Наявність високих концентрацій  $\text{PM}_{1.0}$ , а саме більше  $50 \text{ мкг/м}^3$  є ризиком виникнення захворюваності серед населення, а саме ризик респіраторних захворювань, серцево-судинних хвороб та появи алергічних реакцій.

На (Рис. 5) наявна негативна кореляція  $r = -0,33$  між температурою та концентрацією  $\text{PM}_{2.5}$  в повітряному басейні міста. Найбільша концентрація обох значень має середні показники. Наявні поодинокі випадки концентрацій  $\text{PM}_{2.5}$  більше  $40 \text{ мкг/м}^3$ . Високі концентрації  $\text{PM}_{2.5}$ , а саме більше  $60 \text{ мкг/м}^3$  зафіксовані при помірних температурах. Дану закономірність можна пояснити появою джерел спалювання в проміжний період, а саме осінь та весна.

На (Рис. 6) виявлено негативну кореляцію, коефіцієнт якої складає  $r = -0,31$ , що вказує на обернений помірний зв'язок. Зафіксовано надвисокі концентрації  $\text{PM}_{10}$  більше  $100 \text{ мкг/м}^3$  при помірних температурах повітря, який є характерним для осіннього та весняного періоду. Збільшені концентрації  $\text{PM}_{10}$  зафіксовано при низьких температурах, низькі концентрації  $\text{PM}_{10}$  зафіксовано при температурі  $15\text{--}30^\circ\text{C}$ .

Виявлені від'ємні кореляційні залежності свідчать про наявність фізичних процесів в атмосфері

міста. Низькі температури повітря, характеризуються появою температурних інверсій, що є перешкодою для розсіювання досліджуваних забруднювачів. Холодне повітря має більшу густину, через що відбувається накопичення дрібнодисперсних частинок у приземному шарі атмосферного повітря міста. При теплих періодах року, а саме літо, весна, осінь коли фіксуються показники повітря більше  $15^\circ\text{C}$ , тепле повітря перешкоджає перемішуванню та розсіюванню  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{1.0}$  та  $\text{PM}_{10}$ . Внаслідок підвищеного споживання енергії та опалення в холодний період року збільшується кількість викидів. Збільшується тривалість використання автомобільного транспорту. Через особливості природних умов взимку менша інтенсивність природних механізмів самоочищення атмосфери, знижується кількість фотохімічних реакцій. Внаслідок метеорологічної особливості при зниженій температурі повітря частіше був зафіксований штиль, що сприяло формуванню застійних явищ в атмосферному повітрі. Зафіксовано сезонну специфіку. Літній період має кращі умови для розсіювання дрібнодисперсних частинок, а зимовий період характеризується збільшеним забрудненням атмосферного басейну міста через появу додаткових джерел викидів. Від'ємні кореляційні зв'язки відображають комплексний вплив метеорологічних, антропогенних та природних факторів на концентрації  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{1.0}$  та  $\text{PM}_{10}$  в повітрі міста.

**Висновок.** У результаті проведеного дослідження взаємозв'язку метеорологічних параметрів та забруднюючих речовин у повітряному басейні

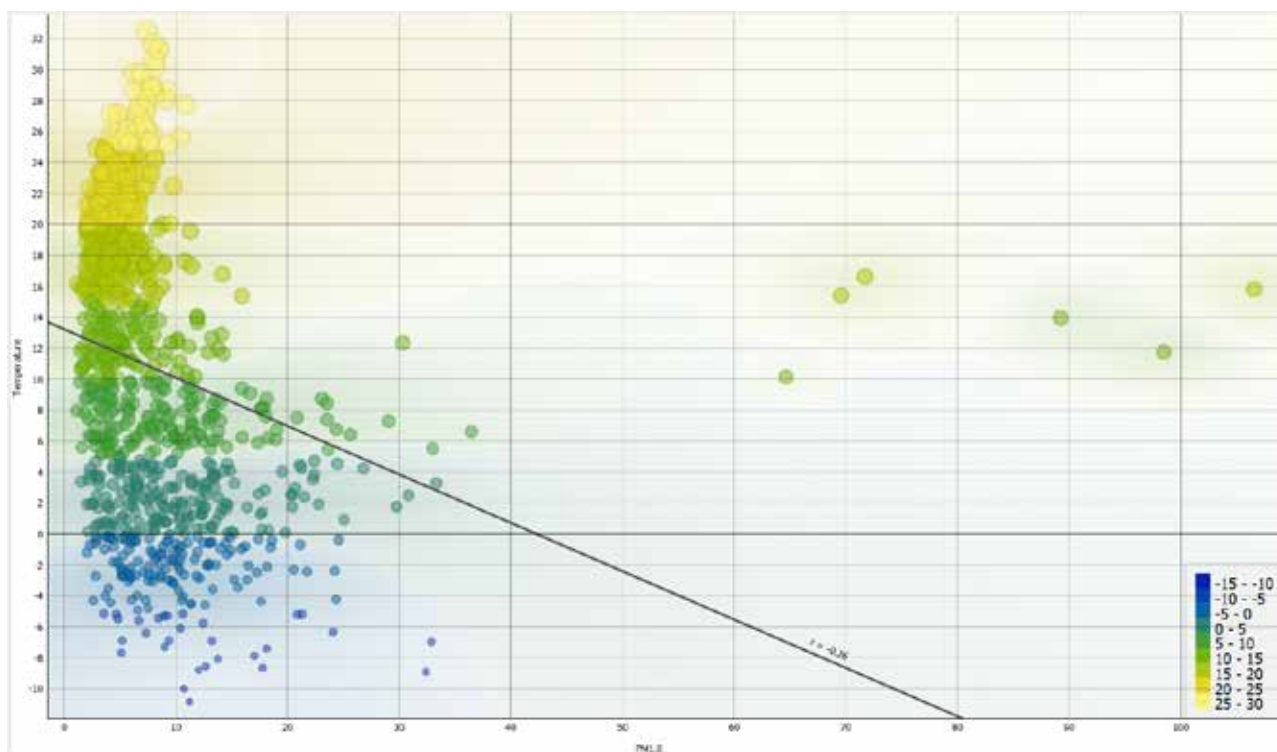


Рис. 4. Температурна динаміка PM1.0

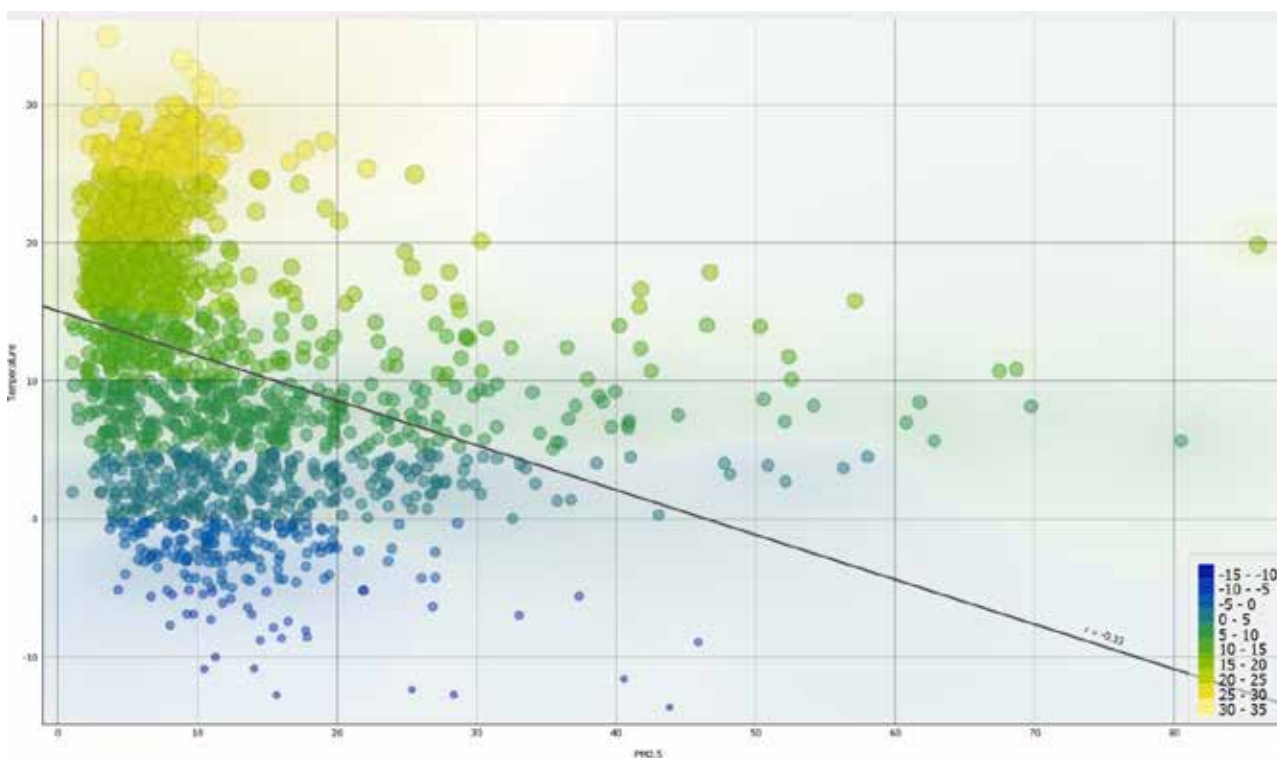


Рис. 5. Температурна динаміка PM2.5

міста Житомир було виявлено ряд важливих закономірностей. Встановлено позитивну кореляцію між концентрацією CO та температурою повітря, що вказує на тенденцію до збільшення концентрації CO

при підвищенні температури. Для  $\text{NH}_3$  та  $\text{NO}_2$  виявлено слабку позитивну кореляцію, що свідчить про незначний вплив температури на концентрацію цієї речовини. Дослідження дрібнодисперсних частинок

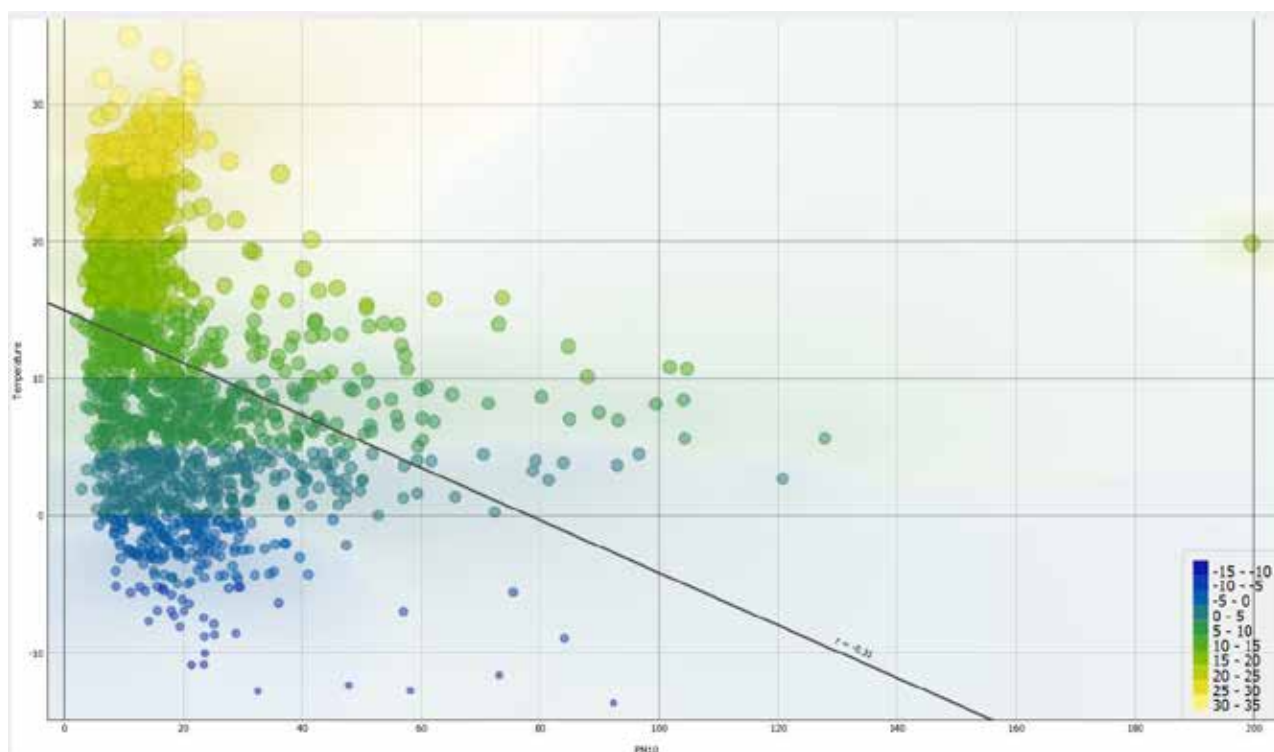


Рис. 6. Температурна динаміка PM10

показало наявність негативних кореляційних зв'язків з температурою для PM1.0, PM2.5 та PM10, що відображає сезонну специфіку забруднення та вплив метеорологічних умов на процеси розсіювання частинок.

Виявлені закономірності мають важливе практичне значення для розробки ефективних заходів з управління якістю повітря в місті. Зокрема, вста-

новлені кореляційні залежності дозволяють прогнозувати рівні забруднення при різних температурних умовах та планувати відповідні природоохоронні заходи. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення системи моніторингу атмосферного повітря та розробки стратегій зменшення забруднення з урахуванням сезонних особливостей та метеорологічних факторів.

### Література

1. Шевченко О. Г. Аналіз ролі метеорологічного потенціалу у формуванні забруднення атмосфери. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія*. 2007. № 54. С. 44-46.
2. Кагукіна А. М., Пацева І. Г. Аналіз показників монооксиду вуглецю, діоксиду азоту та аміаку в повітряному басейні міста Житомир за даними громадського моніторингу повітря ECOSITY. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 3(54). С. 23-31.
3. Кагукіна А.М., Пацева І.Г. Графічний аналіз закономірностей сезонних температурних коливань та концентрації забруднювачів атмосфери міського середовища. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 5(56). С. 193-197.
4. Пацева І.Г., Кагукіна А.М., Луньова О.В. Тенденції зміни клімату Житомирщини. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 6(51). С. 156-159.
5. Негода Н.В., Жукова О.Г. Формування здоров'яорієнтованого міського простору як спосіб управління ризиками для здоров'я населення. *Екологічні науки*. 2023. № 5(50). С. 166-173.
6. Admasu Abawari, Yitagesu Elfaged. Impacts of some meteorological parameters on the characteristics of air quality over Ethiopia. *Journal of Physics Communications*. 2024. 8(12). DOI: 10.1088/2399-6528/ad9666
7. Ali, H. H., Wahab, B. I., Al-Hmeed, H. M. A Comprehensive air quality analysis in Karbala: Investigating the relationships between meteorological factors and pollutants across different landscapes. *Journal of Agrometeorology*. 2024 26(4), P. 401-410. <https://doi.org/10.54386/jam.v26i4.2665>
8. Shelton, Sherly, Liyanage, Gayathri, Jayasekara, Sanduni, Pushpawela, Buddhi, Rathnayake, Upaka, Jayasundara, Akila, Jaya sooriya, Lesty Dias. Seasonal Variability of Air Pollutants and Their Relationships to Meteorological Parameters in an Urban Environment. *Advances in Meteorology*. 2022. 5628911, 18 pages. <https://doi.org/10.1155/2022/5628911>
8. Кіптенко Є., Козленко Т. Вплив метеорологічних умов на забруднення повітря у промислових містах. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. Т. 13. 2007. С. 208-215.
9. Боярин М. В., Нетробчук І. М., Волошин В. У. Вплив метеорологічних умов на рівень забруднення атмосфери ландшафтів Волинської області. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2016. Вип. 15. С. 58-66.

10. Шевченко О. Г. Аналіз ролі метеорологічного потенціалу у формуванні забруднення атмосфери. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія*. 2007. № 54. С. 44-46.
11. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Есо Сіті [База даних результатів моніторингу]. Кабінет дослідника якості повітря України. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2024, № 1005 513МБ. У форматі CSV. URL: <https://archive.eco-city.org.ua>
12. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Есо Сіті [База даних результатів моніторингу]. Кабінет дослідника якості повітря України. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2024, № 1007. 171 МБ. У форматі CSV. URL: <https://archive.eco-city.org.ua>
13. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Есо Сіті [База даних результатів моніторингу]. Кабінет дослідника якості повітря України. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2024, № 1006 171 МБ. У форматі CSV. URL: <https://archive.eco-city.org.ua>
14. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Есо Сіті [База даних результатів моніторингу]. Кабінет дослідника якості повітря України. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2024, № 1004 490 МБ. У форматі CSV. URL: <https://archive.eco-city.org.ua>
15. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Есо Сіті [База даних результатів моніторингу]. Кабінет дослідника якості повітря України. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2024, № 1003 495 МБ. У форматі CSV. URL: <https://archive.eco-city.org.ua>
16. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Есо Сіті [База даних результатів моніторингу]. Кабінет дослідника якості повітря України. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2024, № 1002 207 МБ. У форматі CSV. URL: <https://archive.eco-city.org.ua>
17. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Есо Сіті [База даних результатів моніторингу]. Кабінет дослідника якості повітря України. Івано-Франківськ: ГО «Фрі Ардуіно», 2024, № 1009 164 МБ. У форматі CSV. URL: <https://archive.eco-city.org.ua>