

ОКСИД ВУГЛЕЦЮ ЯК КОМПОНЕНТ СИСТЕМИ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ: ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ДИНАМІКА ВИКИДІВ У МІСТІ ЖИТОМИР

Кагукіна А.М., Пацева І.Г., Валерко Р.А., Герасимчук Л.О.
Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
ke_kham@ztu.edu.ua

У статті розглянуто екологічні, кліматичні та токсикологічні аспекти впливу оксиду вуглецю як одного з важливих компонентів системи парникових газів, що формують сучасну структуру техногенного навантаження на атмосферу урбанізованих територій. Актуальність дослідження зумовлена посиленням антропогенного тиску на навколишнє природне середовище, зокрема через активний розвиток транспортної інфраструктури, зростання обсягів автомобільного руху, використання застарілих енергетичних технологій і недостатній рівень очищення промислових викидів. У роботі проаналізовано динаміку концентрацій оксиду вуглецю в атмосферному повітрі міста Житомир за період 2019–2024 рр., визначено основні тенденції його просторово-часових змін та встановлено взаємозв'язок між рівнем урбанізаційного навантаження й якістю повітряного середовища. Протягом досліджуваного періоду середні концентрації оксиду вуглецю зросли від 0,4–0,8 ppm до 1,4–1,8 ppm, що свідчить про стабільну дію антропогенних джерел забруднення. Накопичення CO у приземному шарі повітря знижує ефективність природних процесів самоочищення атмосфери, провокує розвиток фотохімічного смогу, який негативно впливає на стан здоров'я населення. З огляду на отримані результати, обґрунтовано необхідність удосконалення системи екологічного моніторингу, модернізації транспортної інфраструктури, впровадження екологічно безпечних технологій спалювання палива, підвищення ефективності каталітичних систем двигунів внутрішнього згоряння, а також поступового переходу до використання електротранспорту та відновлюваних джерел енергії. Розроблення та реалізація комплексу природоохоронних заходів, спрямованих на скорочення викидів оксиду вуглецю, є важливою та невід'ємною складовою сучасної екологічної політики, орієнтованої на досягнення цілей сталого розвитку, зниження техногенного навантаження на атмосферу, підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів і забезпечення адаптаційної стійкості урбоєкосистем до проявів кліматичних змін. *Ключові слова:* оксид вуглецю, парникові гази, атмосферне повітря, урбоєкосистема, екологічний моніторинг, динаміка викидів, автотранспорт, кліматичні зміни, фотохімічний смог, антропогенний вплив.

Carbon monoxide as a component of the greenhouse gas system: environmental aspects and emission dynamics in the city of Zhytomyr. Kahukina A., Patseva I., Valerko R., Herasymchuk L.

The article examines the ecological, climatic, and toxicological aspects of the impact of carbon monoxide as one of the important components of the greenhouse gas system that shapes the modern structure of technogenic pressure on the atmosphere of urbanized territories. The relevance of the study is determined by the intensification of anthropogenic load on the environment, in particular due to the rapid development of transport infrastructure, the growing volume of automobile traffic, the use of outdated energy technologies, and the insufficient level of industrial emission purification. The paper analyzes the dynamics of carbon monoxide concentrations in the atmospheric air of Zhytomyr city for the period 2019–2024, identifies the main trends of its spatio-temporal variations, and establishes the relationship between the level of urbanization pressure and air quality. During the study period, the average CO concentrations increased from 0.4–0.8 ppm to 1.4–1.8 ppm, which indicates the persistent influence of anthropogenic pollution sources. The accumulation of CO in the near-surface atmospheric layer reduces the efficiency of natural self-purification processes and provokes the formation of photochemical smog, which negatively affects public health. Based on the obtained results, the necessity of improving the environmental monitoring system, modernizing transport infrastructure, introducing environmentally safe fuel combustion technologies, enhancing the efficiency of internal combustion engine catalytic systems, and gradually transitioning to the use of electric transport and renewable energy sources has been substantiated. The development and implementation of a comprehensive set of environmental protection measures aimed at reducing carbon monoxide emissions constitute an essential and integral component of modern environmental policy focused on achieving the goals of sustainable development, reducing technogenic pressure on the atmosphere, increasing energy resource efficiency, and ensuring the adaptive resilience of urban ecosystems to the manifestations of climate change. *Key words:* carbon monoxide, greenhouse gases, atmospheric air, urban ecosystem, environmental monitoring, emission dynamics, motor transport, climate change, photochemical smog, anthropogenic impact.

Постановка проблеми Сучасний етап розвитку людського суспільства супроводжується стрімким зростанням техногенного навантаження на компоненти навколишнього природного середовища, що зумовлює суттєве погіршення якості атмосферного повітря. Одним із ключових чинників цього процесу є інтенсифікація промислового виробництва, урбанізація, а також зростання кількості

автотранспорту, що виступає головним джерелом викидів забруднюючих речовин антропогенного походження [1]. Серед численних компонентів техногенного забруднення особливе місце посідає оксид вуглецю, який утворюється в результаті неповного згоряння вуглецевмісних речовин, таких як бензин, дизельне паливо, природний газ, вугілля, деревина тощо.

Накопичення оксиду вуглецю в атмосфері створює серйозну екологічну та соціально-гігієнічну проблему, оскільки ця сполука належить до групи токсичних забруднювачів повітря. При потраплянні в організм людини монооксид вуглецю зв'язується з гемоглобіном крові, утворюючи карбоксигемоглобін, що істотно знижує здатність крові переносити кисень і призводить до гіпоксії тканин [2]. Навіть відносно низькі концентрації цього газу в атмосфері при тривалому впливі можуть викликати порушення роботи серцево-судинної та нервової систем, зниження працездатності, головні болі, запаморочення, а у високих дозах — летальні наслідки.

З екологічної точки зору, оксид вуглецю належить до парникових газів непрямої дії, адже він не має значного власного потенціалу поглинання інфрачервоного випромінювання, проте бере активну участь у фотохімічних реакціях в тропосфері [3]. В умовах інтенсивної автомобілізації населення проблема контролю викидів оксиду вуглецю набуває глобального характеру [4]. Збільшення кількості транспортних засобів без відповідного розвитку екологічної інфраструктури сприяє зростанню концентрації CO у приземному шарі атмосфери, що негативно впливає не лише на стан довкілля, а й на якість життя населення урбанізованих територій.

Актуальність дослідження. Проблематика дослідження викидів оксиду вуглецю є надзвичайно актуальною в умовах інтенсивного техногенного розвитку та зростання антропогенного навантаження на атмосферне повітря [5-8]. Сучасні тенденції урбанізації, збільшення кількості транспортних засобів, використання застарілих енергетичних технологій і недостатній рівень очищення промислових викидів зумовлюють систематичне підвищення концентрації CO в приземному шарі атмосфери [8]. Особливо гостро ця проблема проявляється у великих урбанізованих агломераціях, де транспортний сектор є основним джерелом забруднення [9]. Оксид вуглецю, попри те, що не належить до потужних парникових газів за прямою дією, відіграє важливу роль у глобальних кліматичних процесах. Його екологічна небезпека полягає у здатності впливати на окислювальний потенціал атмосфери через зміну концентрації гідроксильних радикалів, які є головним механізмом природного самоочищення повітря. Зменшення кількості цих радикалів унаслідок взаємодії з CO призводить до підвищення атмосферної тривалості існування метану (CH₄) — одного з найефективніших парникових газів. Таким чином, навіть непрямий вплив оксиду вуглецю сприяє посиленню глобального парникового ефекту та зміні радіаційного балансу Землі [3]. Підвищені концентрації CO у поєднанні з іншими забруднюючими речовинами такими як оксиди азоту та леткими органічними сполуками створюють сприятливі умови для розвитку фотохімічного смогу, характерного для індустріально розвинених регіонів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упродовж останнього десятиліття спостерігається активізація наукових досліджень, присвячених проблемі викидів оксиду вуглецю, їх просторово-часовій мінливості та екологічних наслідків. Особливу увагу науковців привертають питання удосконалення методів спостереження, уточнення джерел антропогенних емісій [5]. У роботах [9;10] відзначено, що на глобальному рівні основними джерелами утворення оксиду вуглецю залишаються транспортний сектор, промислові підприємства та побутове спалювання палива. При цьому результати супутникових і наземних вимірювань свідчать про значну географічну неоднорідність концентрацій CO, зокрема про підвищені рівні у густонаселених урбанізованих регіонах [11]. Важливим напрямом сучасних досліджень є уточнення емісійних інвентарів та моделювання просторово-часового розподілу викидів CO. Застосування інверсійних методів, які поєднують наземні спостереження, супутникові вимірювання та хімічно-транспортні моделі, дозволяє підвищити точність оцінювання реальних обсягів антропогенних викидів [12].

Транспортний сектор залишається провідним джерелом емісій CO в урбанізованих територіях [13-15]. У країнах із низьким рівнем екологічного контролю та великою кількістю старих автомобілів спостерігається підвищений рівень забруднення повітря CO, що становить загрозу для здоров'я населення [14].

Питання токсикологічного впливу оксиду вуглецю на організм людини продовжують залишатися предметом медико-екологічних досліджень. За результатами робіт [2;14;16], навіть відносно низькі концентрації CO у повітрі можуть спричиняти хронічну гіпоксію, порушення серцево-судинної діяльності та негативно впливати на центральну нервову систему. Аналіз сучасних наукових джерел свідчить, що оксид вуглецю є важливою складовою системи антропогенних забруднювачів, який поєднує екологічний, кліматичний та соціально-гігієнічний аспекти.

Викладення основного матеріалу. Парникові гази становлять один із головних чинників антропогенного впливу на кліматичну систему Землі. Їхня здатність утримувати частину теплового випромінювання у межах нижніх шарів атмосфери зумовлює формування парникового ефекту — природного механізму, який забезпечує підтримання температурного балансу планети на рівні, сприятливому для існування життя. Втім, унаслідок зростання масштабів промислового виробництва, урбанізації та збільшення транспортного навантаження відбувається інтенсивне накопичення парникових газів в атмосфері, що призводить до посилення глобального потепління та зростання кліматичних ризиків. Серед широкого спектра атмосферних забруднювачів, які опосередковано впливають на кліматичні процеси,

важливе місце займає оксид вуглецю. Хімічна стійкість молекули СО зумовлює її тривале перебування у тропосфері – від одного до двох місяців, що забезпечує можливість її активної участі у глобальних фотохімічних реакціях.

Основними джерелами надходження СО до атмосфери є антропогенні процеси: автомобільний транспорт, промислові підприємства металургійного, хімічного та енергетичного профілів, а також побутовий сектор, де СО утворюється внаслідок спалювання твердого палива у системах опалення. До природних джерел цього газу належать лісові пожежі, вулканічна активність, процеси розкладання органічних сполук у ґрунті та болота [7].

З екологічного погляду, оксид вуглецю відіграє подвійну роль. З одного боку, він є індикатором забруднення повітря, особливо у густонаселених урбанізованих регіонах, де його концентрації можуть у декілька разів перевищувати гранично допустимі норми [5]. З іншого боку – це активний компонент фотохімічних процесів у тропосфері, що впливають на баланс озону та метану, а отже, і на глобальний парниковий ефект.

Механізм кліматичного впливу СО базується на його здатності взаємодіяти з гідроксильними радикалами (ОН), які є головними «очисниками» атмосфери. Під час реакції СО з ОН утворюється вуглекислий газ (CO_2) і водень, однак при цьому знижується концентрація самих радикалів, що уповільнює розклад метану (CH_4). Як наслідок, у повітрі накопичується метан – один із найпотужніших парникових газів, що має у 28–34 рази вищий потенціал утримання тепла, ніж CO_2 [3]. Зростання вмісту СО у тропосфері побічно сприяє підвищенню температури планети через подовження «життєвого циклу» метану.

Крім того, оксид вуглецю бере участь у формуванні фотохімічного смогу. Дане явище характерне для великих міст з інтенсивним рухом транспорту. Під дією сонячного випромінювання монооксид вуглецю вступає у реакції з оксидами азоту, утворюючи тропосферний озон, який, хоч і є корисним у стратосфері, у приземному шарі повітря чинить негативний вплив на здоров'я людини. Зростання концентрації тропосферного озону супроводжується зниженням якості повітря, збільшенням частоти респіраторних захворювань і погіршенням стану урбанізованих екосистем [16].

З біологічної точки зору, оксид вуглецю є однією з найнебезпечніших сполук серед атмосферних забруднювачів. Потрапляючи в організм людини через дихальні шляхи, він має високу спорідненість до гемоглобіну крові – у 200–250 разів більшу, ніж кисень. Утворений карбоксигемоглобін (HbCO) блокує здатність крові переносити кисень, що призводить до тканинної гіпоксії, порушення функцій центральної нервової системи, серцево-судинних розладів і в тяжких випадках – до летального

наслідку [2]. Навіть при незначних концентраціях спостерігаються головний біль, запаморочення, слабкість, а тривале перебування в умовах підвищеного рівня СО становить серйозну небезпеку для здоров'я людини.

Високі концентрації СО у приземному шарі атмосфери є показником не лише техногенного навантаження, а й загального стану екологічної безпеки території. У міських агломераціях, де інтенсивність руху транспорту поєднується з низькою вентиляцією повітря, спостерігається стійке підвищення фонових концентрацій СО, що створює загрозу для якості повітря та мікроклімату міського середовища. Його екологічне, токсикологічне та кліматичне значення вказує на необхідність досліджень у напрямі оцінки динаміки його викидів.

Аналіз графічних даних (Рис. 1) свідчить про нерівномірний розподіл показників протягом досліджуваного періоду, із вираженими коливаннями рівнів забруднення повітря. На початковому етапі спостережень середні концентрації СО переважно перебували в межах 0,4–0,8 ppm, що відповідає фоновим значенням для середніх міських територій. Проте вже у 2021 році фіксується тенденція до поступового підвищення рівня викидів. У 2022–2023 рр. показники СО досягають 1,2–1,5 ppm, що вказує на посилення техногенного навантаження. Наприкінці аналізованого періоду спостерігається відносно стабільне збереження високих концентрацій СО на рівні 1,4–1,8 ppm, що перевищує значення попередніх років. Така тенденція свідчить про зростання середньорічних концентрацій оксиду вуглецю у Житомирі протягом 2019–2024 рр. Аналіз динаміки дозволяє зробити висновок про тривалу дію антропогенних джерел забруднення, серед яких провідну роль відіграє автотранспорт, на частку якого припадає більшість викидів. Додатковий внесок у загальний рівень забруднення роблять енергетичні та промислові підприємства, а також побутовий сектор у зимовий період.

З огляду на наведене, питання моніторингу та регулювання викидів оксиду вуглецю набуває особливої актуальності. Отримані результати свідчать про необхідність посилення системи екологічного моніторингу та впровадження комплексу природоохоронних заходів, спрямованих на скорочення викидів СО. Ефективне зниження рівня СО в атмосфері можливе за рахунок модернізації транспортної інфраструктури, переходу на альтернативні види палива, вдосконалення систем каталізаторів у двигунах внутрішнього згорання, розвитку електромобільності, а також підвищення енергоефективності промислового виробництва. У глобальному контексті скорочення викидів СО розглядається як елемент політики декарбонізації та боротьби з кліматичними змінами [17]. Розроблення та реалізація комплексу природоохоронних заходів, спрямованих на скорочення викидів оксиду вуглецю, є важли-

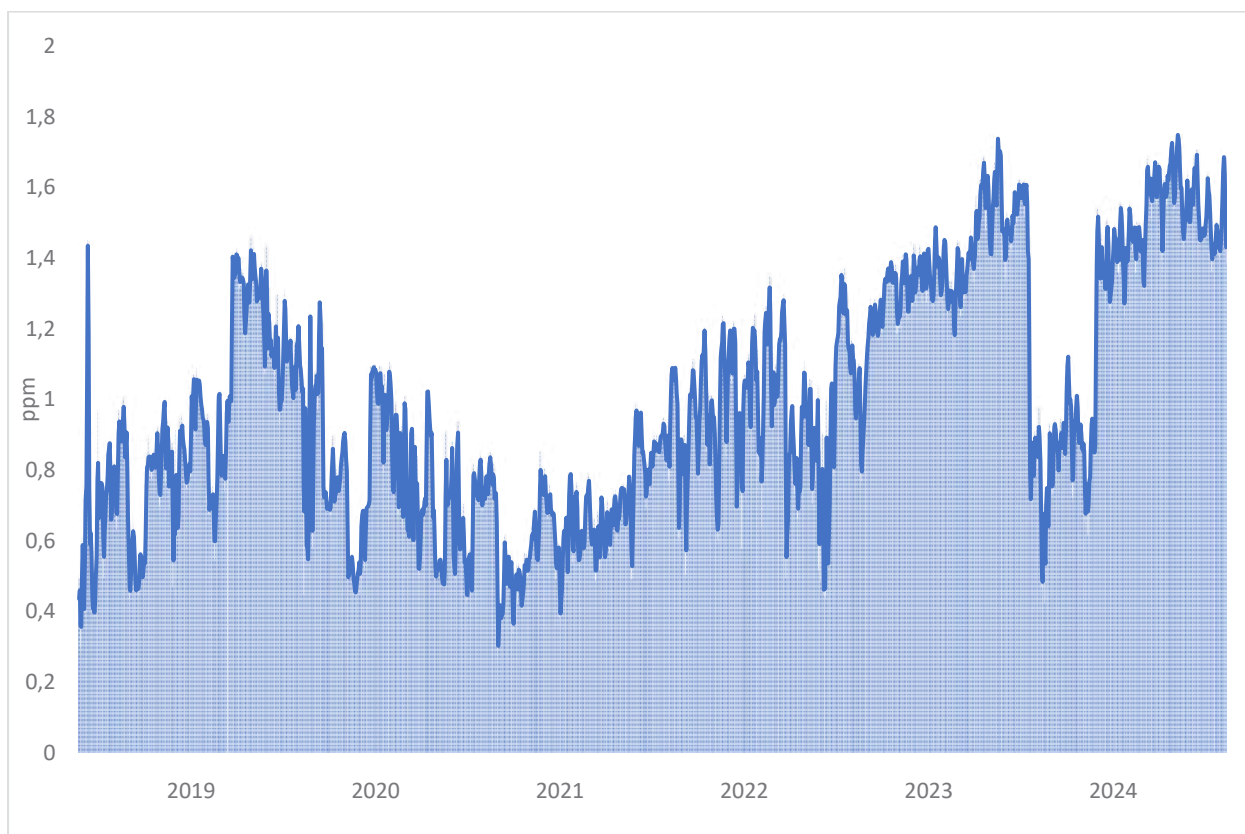


Рис. 1. Динаміка концентрацій оксиду вуглецю (CO) в атмосферному повітрі міста Житомир за період 2019–2024 рр. [18]

вою та невід’ємною складовою сучасної екологічної політики, орієнтованої на досягнення цілей сталого розвитку, зниження техногенного навантаження на атмосферу, підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів і забезпечення адаптаційної стійкості урбоєкосистем до проявів кліматичних змін.

Висновки. Проведене дослідження дозволило встановити, що оксид вуглецю є одним із ключових компонентів техногенного забруднення атмосфери міських територій, який поєднує токсикологічний, кліматичний та екологічний аспекти впливу. Аналіз динаміки концентрацій CO у місті Житомир за період

2019–2024 рр. виявив тенденцію до поступового зростання середніх значень, що свідчить про підвищення техногенного навантаження. Накопичення CO у приземному шарі повітря не лише погіршує якість атмосферного середовища, а й впливає на кліматичні процеси. Результати дослідження підкреслюють необхідність посилення системи екологічного моніторингу, впровадження сучасних методів контролю викидів, переходу на низьковуглецеві технології транспорту. Комплексний підхід до регулювання емісій оксиду вуглецю є запорукою підвищення екологічної безпеки, покращення якості повітря та зменшення негативного впливу на кліматичну систему.

Література

1. Луньова О.В., Кагукіна А.М. Аналіз антропогенного забруднення Житомирського регіону. *Екологічні науки*. 2023. Вип. 3(48). С. 48-52.
2. Afzal M., Agarwal S., Elshaikh R.H., Babker A.M.A., Choudhary R.K., Prabhakar P.K., Zahir F., Sah A.K. Carbon Monoxide Poisoning: Diagnosis, Prognostic Factors, Treatment Strategies, and Future Perspectives. *Diagnostics*. 2025. № 15(5). P. 581. <https://doi.org/10.3390/diagnostics15050581>
3. Chua G., Naik V., Horowitz L.W. Exploring the drivers of tropospheric hydroxyl radical trends in the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory AM4.1 atmospheric chemistry–climate model. *Atmos. Chem. Phys.* 2023. № 23. P. 4955–4975. <https://doi.org/10.5194/acp-23-4955-2023>
4. Кагукіна А.М., Пацева І.Г. Аналіз показників монооксиду вуглецю, діоксиду азоту та аміаку в повітряному басейні міста Житомир за даними громадського моніторингу повітря ECOCITY. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 3(54). С. 23-31.
5. Владимірова О.Г., Бургаз О.А., Тимошук М.О. Особливості забруднення атмосферного повітря м. Одеси діоксидом сірки й оксидом вуглецю. *Екологічні науки*. 2021. Вип. 7(34). С. 44-50.
6. Кагукіна А.М., Пацева І.Г. Взаємозв’язок метеорологічних параметрів та забруднюючих речовин у повітряному басейні міста Житомир. *Екологічні науки*. 2025. Вип. 1(58). С. 58-64.

7. Савенець М.В., Осадчий В.І., Орещенко А.В. Лісові пожежі квітня 2020 року та зумовлені ними зміни якості атмосферного повітря в Україні. *Вісник Національної Академії Наук України*. 2020. № 5. С. 80-89.
8. Kahukina A., Patseva I. Assessment and forecast of atmospheric pollutant dynamics in the urban ecosystem of Zhytomyr. *Technology Audit and Production Reserves*. 2025. № 2(3(82)). P. 36–42. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.326893>
9. Біляєв М.М., Русакова Т.І. Зменшення концентрації оксиду вуглецю у вихлопних газах автотранспорту. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 93. № 3. С. 247-252.
10. Tsvlidou M., Sauvage B., Bennouna Y., Blot R., Boulanger D., Clark H., Le Flochmoën E., Nédélec P., Thouret V., Wolff P., Barret B. Tropical tropospheric ozone and carbon monoxide distributions: characteristics, origins, and control factors, as seen by IAGOS and IASI. *Atmos. Chem. Phys.* 2023. № 23. P. 14039–14063. <https://doi.org/10.5194/acp-23-14039-2023>
11. Faïn X., Szopa S., Naik V., Martinerie P., Etheridge D.M., Rhodes R.H., Trudinger C.M., Petrenko V.V., Fourteau K., Place P. Preindustrial-to-present-day changes in atmospheric carbon monoxide: agreement and gaps between ice archives and global model reconstructions. *Atmos. Chem. Phys.* 2025. № 25. P. 1105.
12. Li X., Cohen J.B., Tiwari P. Space-based inversion reveals underestimated carbon monoxide emissions over Shanxi. *Commun Earth Environ.* 2025. № 6. P. 357. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02301-5>
13. Sharma R., Kumar R., Singh P.K., Raboaca M.S., Felseghi R.-A. A Systematic Study on the Analysis of the Emission of CO, CO₂ and HC for Four-Wheelers and Its Impact on the Sustainable Ecosystem. *Sustainability*. 2020. № 12(17). P. 6707. <https://doi.org/10.3390/su12176707>
14. El-Fadel M., Abi-Esber L. In-vehicle Exposure to Carbon Monoxide Emissions from Vehicular Exhaust: A Critical Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2009. № 39(8). P. 585–621. <https://doi.org/10.1080/10643380701798264>
15. Fry M.M., Schwarzkopf M.D., Adelman Z., Naik V., Collins W.J., West J.J. Net radiative forcing and air quality responses to regional CO emission reductions. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2013. № 13. P. 5381–5399.
16. Yuan Z., De La Cruz L.K., Yang X. Carbon monoxide signaling: examining its engagement with various molecular targets in the context of binding affinity, concentration, and biologic response. *Pharmacol. Rev.* 2022. № 74. P. 823–873.
17. Пацева І.Г., Кагукіна А.М. Коефіцієнти суттєвості відхилень середньомісячних показників температури повітря та кількості опадів в місті Житомир. *Екологічні науки*. 2024. Вип. 2(53). С. 238-242.
18. Українська мережа громадського моніторингу якості повітря Eco City [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>

Дата першого надходження рукопису до видання: 27.10.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025

Дата публікації: 15.12.2025