

ЕКОЛОГІЯ

DOI: 10.31319/2519-2884.42.2023.18

УДК 504.064.2

Кремін В.А., магістр, e-mail: kremvok@ukr.net

Непошивайленко Н.О., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-0759-2451,

e-mail: nna2013@ukr.net

Гуляєв В.М., д.т.н., професор, ORCID: 0000-0002-4991-6250, e-mail: vgulyaev@dnepro.net

Гулько С.О., к.б.н., доцент, ORCID: 0000-0002-9551-9803, e-mail: goonko@gmail.com

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Kremin Volodymyr, master's degree student in «Environmental studies»

Neposhyvailenko Natalia, Candidate of engineering sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection

Gulyaev Vitaliy, Doctor of engineering sciences, Professor of the Department of Chemical Technology of Inorganic Substances, the First Vice-rector

Hunko Svetlana, Candidate of biology sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Protection

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КОМПЛЕКСНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ М. КАМ'ЯНСЬКЕ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ РІЗНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАНЬ

Розглянуті особливості функціонування системи екологічного моніторингу в Україні, на обласному та міському рівні на прикладі м. Кам'янське. Проведений порівняльний аналіз результатів вимірювань середньомісячних концентрацій забруднюючих речовин, отриманих автоматичним та інструментальним методами. Перевірено адекватність результатів вимірювання системи комплексного екологічного моніторингу м. Кам'янське за рахунок співставлення середньорічних концентрацій пилу з обсягами викидів, спираючись на методи математичного моделювання. Надані рекомендації щодо удосконалення існуючої системи комплексного екологічного моніторингу з огляду укомплектування сучасним автоматизованим обладнанням стаціонарних постів спостереження та їх розширення.

Ключові слова: забруднення атмосферного повітря; пости спостережень; пил; концентрація; *pm*2.5; *pm*10; система комплексного екологічного моніторингу; викиди.

The features of the functioning of the environmental monitoring system in Ukraine are discussed, using the example of the city of Kamianske at the regional and municipal levels. A comparative analysis of the results of measurements of average monthly concentrations of pollutants obtained by automatic and instrumental methods is conducted. The adequacy of the measurement results of the comprehensive environmental monitoring system of Kamianske is verified by comparing the average annual concentrations of dust emissions using mathematical modeling methods. Recommendations are provided for improving the existing system of comprehensive environmental monitoring, including the automation of observation posts, equipping them with modern equipment, and expanding their coverage.

Keywords: atmospheric pollution; observation posts; dust; concentration; *pm*2.5; *pm*10; comprehensive environmental monitoring system; emissions.

Постановка проблеми

Питання розробки схем організації та проведення соціально-спрямованого екологічного моніторингу в Україні, особливо в розрізі забруднення пилом атмосферного повітря, сьогодні потребують ґрунтовного удосконалення [1]. Враховуючи необхідність адаптації вітчизняного природоохоронного законодавства до директив ЄС, мають бути враховані рекомендації Євро-

пейської економічної комісії ООН в частині створення Європейської мережі інформації про стан довкілля з метою проведення адекватної оцінки основних параметрів довкілля відповідно до Директив ЄС [2]. Слід підкреслити, що технічне забезпечення та правова підтримка визначають загальний рівень спостережень, тому важливо постійно вдосконалювати ці складові на засадах системного підходу [3].

Важливою задачею сьогодення є створення мережі моніторингу стану забруднення атмосферного повітря будь-якого населеного пункту, що дозволить здійснити незалежне спостереження за забрудненням повітря, враховуючи нормативні документи та відповідні постанови. Екологічний моніторинг навколишнього середовища є сучасною формою реалізації процесів екологічної діяльності за допомогою засобів інформатизації і забезпечує регулярну оцінку і прогнозування стану середовища життєдіяльності суспільства та умов функціонування екосистем для прийняття управлінських рішень щодо екологічної безпеки, збереження довкілля та раціонального природокористування [4–6].

На сьогодні, моніторинг природного середовища є дієвим засобом природоохоронної політики, що здійснюється відповідно до екологічних прогнозів. Потрібно постійно вивчати систему аналізу технічного забезпечення стану засобів вимірювальної техніки, що використовуються в мережах спостережень з урахуванням сучасних загальноєвропейських вимог і, зокрема, щодо впровадження багатофункціональних приладів, уніфікації засобів вимірювальної техніки, автоматизованих постів спостережень та використання засобів дистанційного спостереження [7, 8]. В умовах постійно зростаючого антропогенного навантаження та підвищених ризиків техногенних катастроф, необхідно постійно модернізувати системи моніторингу атмосферного повітря [9, 10].

Для вирішення цього завдання проведено порівняльний аналіз достовірності результатів вимірювань концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі згідно існуючої системи екологічного моніторингу забруднення навколишнього середовища у місті Кам'янське.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На сьогоднішній день все більшої популярності набуває моніторинг та оцінювання стану атмосферного повітря, зокрема, за допомогою стаціонарних та пересувних систем екологічного моніторингу. Це надає певні переваги, такі як здійснення моніторингу стану повітря будь-якої території, низька вартість виконання, широкий територіальний охоплення та цілодобовий моніторинг. Аналіз літературних джерел з теми показав велику кількість вже проведених досліджень стану повітря та прогнозування забруднення з використанням регресійних моделей, як в Україні так і за її межами [11].

Формування системи моніторингу довкілля перебуває у стані активного розвитку, вдосконалення, інформування та уніфікації, як методів отримання і переробки інформації про стан довкілля, так і методів навчання (обізнаності) фахівців у цій галузі. Одночасно з цим потребують вдосконалення законодавча і навчально-методична база цієї системи [12, 13].

Одним з найважливіших компонентів навколишнього природного середовища для життя людини є атмосферне повітря, тому турбота про його якісний стан потребує постійного контролю та моніторингу. Саме тому в Україні діє Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» [14], направлений на відновлення, збереження та поліпшення стану атмосферного повітря. Закон розкриває організаційні та правові основоположення, а також вимоги екологічного характеру в галузі використання та охорони атмосферного повітря.

Моніторинг довкілля в усіх розвинених країнах здійснюється на основі рекомендацій ООН з урахуванням національних особливостей [15]. Наприклад, у Великобританії для цього створено мережу спостережень за хімічними сполуками з метою вивчення динаміки зміни середовища за їх впливу, дослідження найменш стійких компонентів екологічних систем. Реалізується він на двох рівнях: моніторинг якості довкілля (оцінювання існуючого стану); «проблемний» моніторинг (оцінювання нових небезпечних, кризових екологічних ситуацій). Зазначений принцип дає можливість передбачати екологічні проблеми екосистем, своєчасно планувати та організовувати нові моніторингові спостереження.

У більшості країн Європи екологічний моніторинг відзначається широкою розгалуженістю і застосуванням автоматизованих систем спостережень. На державному рівні розроблені

екологічні нормативи і стандарти якості навколишнього середовища двох типів: стандарти якості середовища; стандарти викидів шкідливих речовин у середовище. Для повітряного басейну встановлюються: гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у приземному шарі атмосфери; стандарти на викиди шкідливих речовин в атмосферу стаціонарними джерелами; стандарти на якість палива (зольність, вміст сірки); стандарти на викиди автотранспортом [16].

У США застосовується комбінований показник забруднення атмосфери. За завданням Агентства з охорони навколишнього середовища в США розроблено дві системи:

1) загальнонаціональна система контролю повітря на потреби охорони здоров'я, яка має 23 великі станції, розміщені по всій території країни для безперервного контролю рівня забруднення атмосфери SO_2 ; NO_2 ; CO_2 , піроксидомацетилнітрату, вуглеводнями і пилом;

2) регіональна система дозволяє моделювати фізичні та хімічні процеси у атмосфері, результати яких будуть враховані для вироблення стратегії, контролю та оцінки загального забруднення атмосфери. Система має 25 наземних дистанційних станцій, розміщених на околиці Сент-Луїсу (вони контролюють вміст CO_2 , SO_2 , CH_4 , H_2S , сукупність вуглеводнів і сірчаних сполук, озону і пилу) і 3 повітряні станції на гелікоптерах, які здійснюють додатковий контроль.

У Франції розроблена та введена в експлуатацію система спостереження за смогом шляхом збору даних для складання картотеки забруднювачів [15—18]. Вона має три організаційні рівні. На першому рівні здійснюється контроль вмісту в повітрі CO_2 , SO_2 , органічних сполук і пилу пересувними контрольними засобами спостереження; на другому – заміри концентрації важких металів і аерозолів, які проводять 72 напівавтоматичні контрольні засоби спостереження, розміщені у вузлах метричної сітки з базою 7 км; третій рівень забезпечує контроль вмісту в атмосфері CO_2 , SO_2 і сукупність оксидів азоту за допомогою 15 контрольних засобів спостереження. Такий безперервний контроль на декількох рівнях забезпечує суттєве скорочення витрат енергії, матеріалів і вдосконалення технологічного обладнання, але потребує значних витрат на придбання обладнання та експлуатацію складного вимірювального комплексу.

Організацію моніторингу навколишнього природного середовища в Україні започатковано у 1972 році. Перше «Положення про державний моніторинг навколишнього природного середовища» було затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 23 вересня 1993 року № 785. Оновлена версія «Про затвердження положення про Державну систему моніторингу довкілля» затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 30 березня 1998 року № 3912 [14].

В основу Державної системи моніторингу довкілля України покладено досвід гідрометеорологічних служб, а також результати аналізу існуючої інформації про забруднення природних середовищ.

В Україні моніторинг довкілля здійснюється багатьма відомствами, у рамках діяльності яких мають відповідні задачі, рівні і складові підсистеми моніторингу [19]. Функції зі здійснення спостережень за станом об'єктів довкілля покладено на центральні органи виконавчої влади, які є суб'єктами Державної системи моніторингу довкілля. Також несуть відповідальність та здійснюють спостереження підприємства, установи та організації, діяльність яких призводить або може призвести до погіршення стану довкілля.

За результатами проведеного аналізу визначено, що питання організації, здійснення, представлення даних та прийняття рішень за показниками екологічного моніторингу забруднення атмосферного повітря в Україні, потребують удосконалення з урахуванням рекомендацій Європейської економічної комісії ООН та Директив ЄС. Тому, система моніторингу довкілля України вимагає постійного розвитку, вдосконалення, інформування і уніфікації методів отримання і переробки інформації про стан атмосферного повітря як на глобальному рівні, так і в межах окремих локалізованих систем.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є порівняльний аналіз достовірності отриманих результатів вимірювань середньомісячних концентрацій пилу в атмосферному повітрі у складі комплексного екологічного моніторингу м. Кам'янське.

Виклад основного матеріалу

Кам'янське — потужне індустріальне місто, другий за величиною та значенням центр обласної Дніпровської агломерації. У державному територіальному розподілі місто виділене, як

центр чорної металургії, хімічної промисловості та є одним із найбільших промислових вузлів України [20, 21]. В результаті тривалого та інтенсивного розвитку важкої індустрії у місті, територіальне розташування промислових підприємств, їх спеціалізація, сучасний стан вулично-дорожньої мережі обумовлює вкрай небезпечну екологічну ситуацію у місті, наслідки від якої зумовлюють шкоду для довкілля та здоров'я населення, що вимагає постійного контролю за станом довкілля [22].

Спостереження за якістю атмосферного повітря в місті здійснюється двома методами — автоматизованим способом та інструментальним (шляхом ручного відбору проб повітря та наступним їх аналізом). Дані методи мають переважно схожі завдання вимірювань параметрів атмосферного повітря, проте мають певні відмінності в галузі спостережень. Статистична інформація про екологічні показники стану компонентів навколишнього середовища міста доступна на базі головного управління статистики у Дніпропетровській області, проте ці дані не містять аналітичної інформації, узагальнень, висновків і пропозицій.

Відповідно до вимог діючого законодавства у місті постійно проводиться інструментальний моніторинг довкілля Дніпропетровським регіональним центром гідрометеорології. Проте одним із пунктів програми Євроінтеграції України було створення доступної та дієвої системи моніторингу навколишнього середовища з цілодобовою фіксацією отриманих даних. В результаті таких вимог у м. Кам'янське було впроваджено Систему комплексного екологічного моніторингу (СКЕМ), в рамках якої з 2019 року в місті розпочала роботу автоматизована система екологічного моніторингу. Система комплексного екологічного моніторингу офіційно знаходиться на балансі КП «Екосервіс». Відбір проб проводиться з використанням відповідного обладнання, яке встановлено на стаціонарних постах спостережень (загальну схему розміщення стаціонарних постів спостереження СКЕМ м. Кам'янське наведено на рис. 1, а) та пройшло офіційну повірку (приклад обладнання СКЕМ представлено на рис. 1, б).



Рис. 1. Система комплексного екологічного моніторингу (СКЕМ) м. Кам'янське: а) загальна схема розміщення стаціонарних постів спостереження СКЕМ, б) обладнання стаціонарних постів спостереження СКЕМ

Основним завданням системи комплексного екологічного моніторингу є надання своєчасної, регулярної та достовірної інформації про стан навколишнього середовища та об'єктів, а також прогнозів зміни екологічної ситуації. Дані моніторингу є основою для інформаційного забезпечення прийняття відповідних рішень, встановлення пріоритетів у галузі охорони навколишнього середовища з метою розробки економічної політики, яка адекватно враховує екологічні фактори [23]. На сьогодні у місті працює центр управління та встановлено п'ять автоматизованих постів, два з яких здійснюють безперервний довготривалий моніторинг п'ятих основ-

них показників якості атмосферного повітря — азоту діоксиду (NO_2), двоокису сірки (SO_2), вуглецю оксиду (CO), пилу з частками розміром до 10 мікрон (PM_{10}) та до 2,5 мікрон ($\text{PM}_{2.5}$), а також температури, вологості повітря та атмосферного тиску.

Інструментальний контроль якості атмосферного повітря відбувається за чотирма постами спостережень (АПК № 2, АПК № 3, АПК № 4 та АПК № 10), що розташовані територією міста, кожний з яких відстежує концентрації по дев'яти забруднюючим речовинам (пил, оксиди азоту, оксид вуглецю, діоксид сірки, сірководень, фенол, аміак, формальдегід). Проби повітря відбираються двічі на добу 5 разів на тиждень, застосовуючи аспіраційний спосіб пробовідбору.

В рамках дослідження проведено порівняльний аналіз результатів вимірювань середньомісячних концентрацій пилу, отриманих з одного з постів спостереження (АПК № 4, місце розташування якого наведено на рис. 1, а) системи комплексного екологічного моніторингу. АПК № 4 розташований в зоні впливу металургійного комбінату ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». Пост спостереження укомплектований сучасним вимірювальним обладнанням для автоматизованого проведення спостережень та одночасно містить усе необхідне обладнання для інструментального контролю пилу в атмосферному повітрі.

На рис. 2 наведена динаміка середньомісячних концентрацій твердих часток різного розміру ($\text{PM}_{2.5}$ та PM_{10}) за результатами автоматизованого методу контролю. З рисунка видно, що частки пилу в майже стабільній кількості знаходяться в повітрі, не перевищуючи відповідних гранично допустимих концентрацій. Дані результати свідчать про добрий стан атмосферного повітря в межах дослідного поста спостережень, що відповідає задовільному очищенню від твердих часток промислових викидів, що потрапляють в зону вимірювання АПК № 4.

Наведена на рис. 3 динаміка середньомісячних концентрацій твердих часток змішаного складу (пилу), отримана за результатами вимірювань інструментальними методами, які проводить лабораторія спостережень за забрудненням атмосферного повітря м. Кам'янське, вказує на постійне забруднення атмосферного повітря пилом зі стабільним перевищенням гранично допустимих концентрацій пилу дрібних фракцій ($\text{PM}_{2.5}$) та допустимим рівнем в межах екологічних нормативів крупних фракцій пилу (PM_{10}).

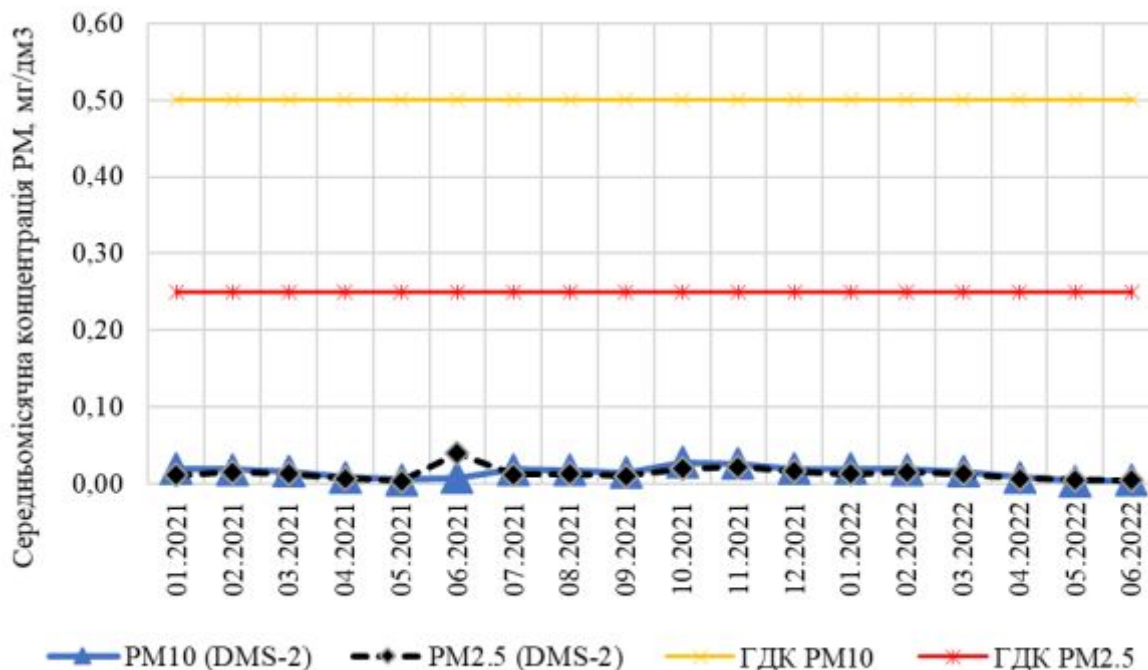


Рис. 2. Динаміка результатів вимірювань середньомісячних концентрацій пилу (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) згідно автоматизованої системи екологічного моніторингу

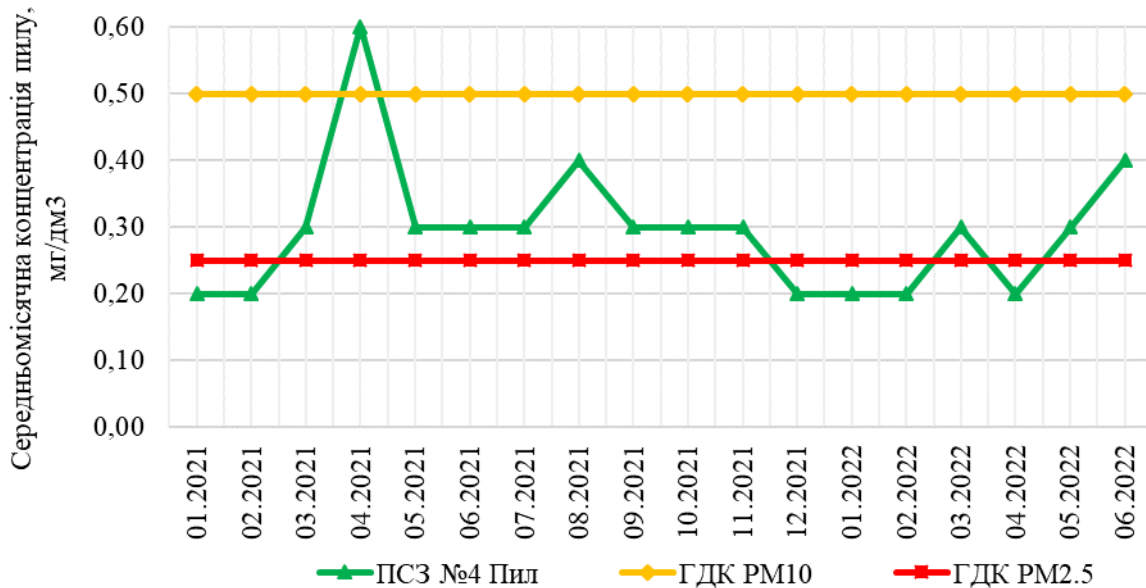


Рис. 3. Динаміка результатів вимірювань середньомісячних концентрацій пилу згідно інструментальних методів екологічного моніторингу

Проаналізувавши динаміку середньомісячних концентрацій інших забруднюючих речовин встановлено, що вимірювальні параметри мають нерівномірні значення як за часом, так і в залежності від місця розташування стаціонарного поста. При цьому, в більшості випадків, концентрації тих самих речовин, виміряних різними методами на одних тих самих постах спостережень суттєво відрізняються. Як зазначено вище (рис. 2, 3), середньомісячна концентрація пилу, що вимірювалась впродовж 18 місяців (2021—2022р.р.) на стаціонарному пості спостереження АПК № 4, має суттєві відмінності значень в залежності від застосованих методів вимірювання показників.

За результатами вимірювань інструментальними методами (рис. 3) середньомісячні концентрації пилу в 10—50 разів перевищують дані, отримані автоматизованими методами вимірювання (рис. 2). Проте обидва з методів вимірювання концентрацій не перевищують гранично-допустимих концентрацій в атмосферному повітрі даної речовини зокрема для крупнодисперсного пилу РМ10.

Отримані суперечливі результати поставили завдання перевірки адекватності результатів вимірювання системи комплексного екологічного моніторингу м. Кам'янське, оскільки результати СКЕМ враховують дані вимірювання концентрацій забруднюючих речовин двома різними методами. Для цього запропоновано в якості завірного фактору використати обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, що безперечно впливає на концентрації тих самих речовин поблизу джерела викиду.

Для підтвердження запропонованої теорії обрано стаціонарний пост спостереження АПК № 4, розташований на межі санітарно-захисної зони ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». Для співставлення обрано конкретну речовину — пил, яка є однією з основних забруднювачів, що присутня у викидах в атмосферу від виробничого процесу металургійного виробництва.

Проведено співставлення середньомісячного обсягу викидів пилу з середньомісячними концентраціями даної забруднюючої речовини, виміряними автоматизованими та інструментальними методами екологічного моніторингу. Наведені в табл. 1 математичні моделі взаємозалежності вказаних параметрів мають ступеневий та поліноміальний характер розподілу відповідно для автоматизованого та інструментального методу вимірювання та вказують на слабкий зв'язок між дослідженими параметрами, що підтверджується низькими показниками коефіцієнтів кореляції.

Таблиця 1. Математичні моделі залежності середньомісячної концентрації пилу від їх середньомісячних обсягів, розроблені для автоматизованого та інструментального методів вимірювання

Метод екологічного моніторингу	Математична модель, де x — середньомісячні обсяги викидів пилу, тон y — середньомісячна концентрація пилу, мг/м ³	Коефіцієнти кореляції
Автоматизований	$y = 10^{-6} \cdot x^{1,3929}$	r = 0,47
Інструментальний	$y = 10^{-6} \cdot x^2 - 0,002x + 1,0179$	r = 0,32

Враховуючи місце розташування стаціонарного поста спостереження АПК № 4 відносно території ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», з урахуванням недостатнього ступеня адекватності вище отриманих математичних моделей, запропоновано врахувати додатковий фактор впливу, а саме: середньомісячний напрям вітру за період дослідження. Найбільш впливовим для АПК № 4 з боку ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» є північний та північно-східний румби. Саме такий напрям вітру було зафіксовано для м. Кам'янське протягом періоду січень — квітень 2021 року.

На рис. 4 наведені графічні та математичні моделі поліноміального характеру, що вказують на залежність середньомісячних концентрацій пилу в атмосферному повітрі від середньомісячного обсягу викидів пилу з урахування напрямку вітру. Адекватність взаємозв'язку підтверджується високими показниками коефіцієнтів кореляції $r = 0,658$ та $r = 0,975$ для автоматизованих та інструментальних методів екологічного моніторингу відповідно.

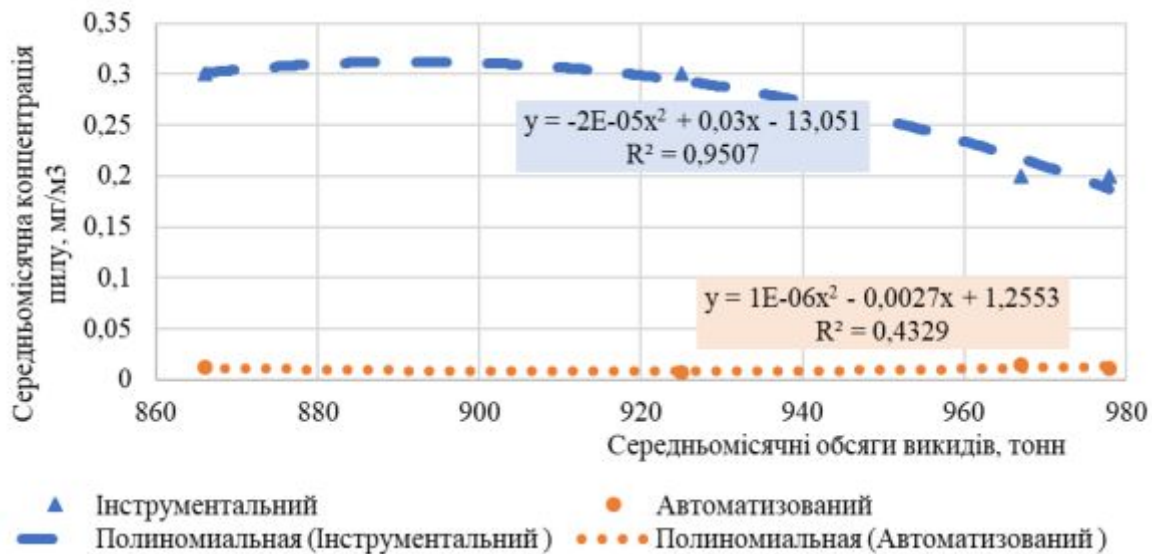


Рис. 4. Графічні та математичні моделі взаємозалежності середньомісячних концентрацій пилу та середньомісячного обсягу викидів пилу в атмосферу з урахування напрямку вітру

Встановлені залежності, не дивлячись на їх високу адекватність, потребують подальшого дослідження, в першу чергу, за рахунок збільшення кількості моніторингових даних, врахування інших метеорологічних параметрів (швидкість вітру та його вологість, температура повітря), а також рельєфоутворюючих факторів (альтитуда, наявність системи озеленення, характер забудови, тощо). Крім того, для визначення залежності концентрацій забруднюючих речовин від обсягу їх викидів в атмосферу інформативніше було б використовувати не тільки середньомісячні показники, а й виміри добового характеру. В якості майбутніх завдань вбачається проведення більш ретельного добору вихідних даних та їх статистичної обробки із застосуванням комплексних системних методів регресійного та кластерного аналізів.

Проведений аналіз достовірності отриманих результатів вимірювань середньомісячних концентрацій за автоматизованими методами екологічного моніторингу показав, що питанню екологічного спостереження необхідно приділяти більше уваги. Діюча автоматизована система моніторингу потребує суттєвого вдосконалення майже в усіх її основних ланках з максимальним використанням наявних мереж спостережень без значних капіталомістких заходів, але з поступовим організаційним, нормативним, методичним та технічним удосконаленням відповідно до сучасних інформаційних потреб з урахуванням впровадження науково обґрунтованих підходів.

На сьогодні місто потребує збільшення кількості автоматизованих постів екологічних спостережень, адже непостійні кліматичні характеристики та зміна обсягів викидів підприємств-забруднювачів є фрагментарними, неповними та розрізненими, не даючи можливості представлення цілісної екологічної картини міста. Розроблений для м. Кам'янське проєкт зі створення системи моніторингу передбачає розширення постів спостережень, які вже побудовані на території міста та потребують встановлення в них додаткового відповідного обладнання (автоматизовані газоаналізатори дрібнодисперсних часток PM_{2.5}).

Особливої уваги потребує питання узагальнення та зберігання інформації на серверах: крім наявного центру управління моніторингом пропонується передбачити накопичувач інформації на кожному пості окремо. Відсутність живлення та інтернет зв'язку протягом тривалого часу можуть поставити під загрозу всю роботу системи комплексного екологічного моніторингу міста. Тому потрібно передбачити альтернативний метод збору інформації та встановлення, за можливості, генераторів живлення для безперебійної роботи СКЕМ. Адже автоматизовані пости швидше дають змогу фіксувати перевищення ГДК та відображають це на своїх графіках і оповіщають населення про можливі ризики.

Висновки

За результатами дослідження визначено, що автоматизована система моніторингу дозволяє проводити безперервний довготривалий моніторинг п'ятьох основних показників якості атмосферного повітря (NO₂, SO₂, CO, пилу PM₁₀ та PM_{2.5}) за двома автоматизованими постами спостережень. Натомість, моніторинг, що здійснюється інструментальним способом дозволяє оцінити екологічну ситуацію по місту за чотирма постами спостережень, кожний з яких відстежує концентрації по дев'яти забруднюючим речовинам (пил, оксиди азоту, оксид вуглецю, діоксид сірки, сірководень, фенол, аміак, формальдегід).

Контроль якості атмосферного повітря у місті за результатами вимірювань концентрацій забруднюючих речовин при об'єднанні автоматизованих та інструментальних методів моніторингу надає можливість відслідковувати джерела викидів/виділень забруднюючих речовин відповідно до місця відбору проб та оцінювати ступінь екологічної небезпеки у порівнянні з гранично допустимими концентраціями цих речовин.

За даними автоматизованої системи моніторингу впродовж 2021—2022 років встановлено, що середньомісячні концентрації пилу знаходяться в межах гранично допустимих концентрацій, що свідчить про задовільну систему очищення промислових викидів. За даними інструментальних методів моніторингу протягом того ж періоду часу підтверджено, що перевищень гранично допустимих концентрацій крупнодисперсного пилу впродовж дослідного періоду не виявлено. Проте, на прикладі дрібнодисперсного пилу встановлено, що концентрації тих самих речовин, виміряних різними методами на одних тих самих постах спостережень можуть суттєво відрізнитись, що свідчить про недосконалість кожного з методів вимірювань системи екологічного моніторингу міста.

Розроблені математичні моделі поліноміального характеру вказують на залежність середньомісячних концентрацій пилу в атмосферному повітрі від середньомісячного обсягу викидів пилу. Адекватність взаємозв'язку підтверджується високими показниками коефіцієнтів кореляції $r = 0,658$ та $r = 0,975$ для автоматизованих та інструментальних методів екологічного моніторингу відповідно. Встановлена достовірність результатів вимірювань середньомісячних концентрацій пилу в атмосферному повітрі потребує подальшого дослідження за рахунок збільшення кількості та періодичності отримання моніторингових даних, врахування метеорологічних параметрів, рельєфоутворюючих факторів, тощо.

Зауважено, що першочерговою задачею удосконалення міської системи екологічного моніторингу є доукомплектування діючих постів спостережень приборами для моніторингу пилу PM_{2.5} та PM₁₀, збільшення кількості діючих постів екологічного моніторингу, постійний контроль термінів повірки обладнання та систематична калібровка встановлених на постах спостережень датчиків.

Порівняльний аналіз достовірності отриманих результатів вимірювань середньомісячних концентрацій пилу в атмосферному повітрі може бути використаний департаментом екології та природних ресурсів м. Кам'янське в рамках удосконалення та розвитку системи комплексного екологічного моніторингу міста, реалізації місцевих та державних екологічних програм.

Список використаної літератури

1. Кораблева А.И., Шапарь А.Г., Гербильский Л.В., Полищук С.З. Антропогенные проблемы экологии. Д.: Вид-во «Промінь», 1997. 142 с.
2. Стратегія розвитку міста Кам'янське на період до 2020 року. Рішення міської ради від 26.12.2014 №1162-58/VI.
3. Посудін Ю.І. Моніторинг довкілля з основами метрології: підручник. К.: 2012. 426 с.
4. Батлук, В. А. (2001). Основы экологии и охрана окружающей природной среды. Львов: Афиша.
5. Білявський Г.О., Білявський Р.С., Фурдуй І.Ю., Костіков Г.О. (2006). Основи екології. Київ: Либідь.
6. Дуднікова І.І., Пушкін С.П. Моніторинг довкілля. Київ: ЄУ. 2007.
7. Ильин В.Б. Мониторинг тяжелых металлов применительно к крупным промышленным городам. *Агрехимия*. 1997. № 4, С. 81–86.
8. Кліщенко М.О. Прищепа А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля. Київ: «Академія». 2006.
9. Швец В.Я., Приходченко А.Г. Экологические проблемы Днепродзержинска Днепродзержинск. 1997. 90 с.
10. Пасічний Г.В., Сердюк С.М. Геоекологічні моніторингові дослідження вмісту важких металів в ґрунтах техногенно змінених ландшафтів на прикладі м. Дніпродзержинська. *Вісник Дніпропетровського університету. Геологія, географія*. 2002. № 4, С.161–166.
11. Непошивайленко Н.О., Зберовський О.В., Карпенко О.О., Галата А.В., Клименко Т.К. Комплексні дослідження стану довкілля на території міста Дніпродзержинська з використанням ГІС-технологій. *Збірник наукових праць НГУ*. 2011). № 36(1), С.177–183.
12. Багрій І.Д., Білоус А.М., Вилкул Ю.Г., Гожик П.Ф. Досвід комплексної оцінки та картографування факторів техногенного впливу на природне середовище міст Кривого Рогу та Дніпродзержинська. Київ: Фенікс. 2000.
13. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта. Киев: Астерия. 2000.
14. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» Відомості Верховної Ради. 1991. № 41.
15. Методичні вказівки для підготовки студентів за спеціальностями 101 «Екологія» та 103 «Науки про Землю» / к. геогр. н., доц. Гриб О.М., к. геогр. н., доц. Чугай А.В. Одеса: ОДЕКУ. 2019. 58 с.
16. Шевченко Р.Ю. Інструментарій моніторингу довкілля міста Києва. Монографія. Київ, 2020. 324 с.
17. Пучков Л.А., Воробьев А.Е. Человек и биосфера: вхождение в техносферу. Харьков: ХПИ. 2000.
18. Стольберг Ф.В. Экология города. Киев: Либра. 2000.
19. Бобильов Ю.П. та ін.. Екологія. Фоліо, Харків. 2014.
20. Барг І.М. Нариси геологічної історії Дніпропетровщини. Дніпропетровськ: «Альфа». 1997.
21. Пашенко В.М. Степова фізико-географічна зона. *Географічна енциклопедія України*, 1989. № 3, С. 235–236.

- 22.Гулько С.О. Закономірності розподілу кадмію в едафотопях урбанізованих територій м. Кам'янське: Автореф. дис. ... канд. біол. наук: Дніпро, 2021. 25 с.
http://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/dissertations/D08.051.04/autoreferat_6046399d5c7c2.pdf
- 23.Davydova N.D., Znamenskaya T.I., Lopatkin, D.A. Landscape-geochemical approach to solving problems of environmental pollution. *Contemporary Problems of Ecology*. 2014. № 7(3), P. 345–352. doi:10.1134/S1995425514030020

COMPARISON OF COMPREHENSIVE ENVIRONMENTAL MONITORING RESULTS OF THE CITY OF KAMIANSKE USING DIFFERENT MEASUREMENT METHODS

Abstract

Comprehensive assessment of the main environmental parameters in Ukraine in accordance with EU Directives requires a thorough improvement of the environmental monitoring system. In the present time, the assessment of atmospheric air quality is carried out by an automated and instrumental method of determining the concentrations of pollutants, each of which has advantages and disadvantages. Therefore, the purpose of the work was to conduct a comparative analysis of the reliability of the results of measuring the concentrations of pollutants in atmospheric air. The study was conducted on the example of average monthly dust concentrations measured over 18 months by an automated and instrumental method at one of the stationary observation posts in the city of Kamianske. According to the results of observations, it was found that according to instrumental methods, the average monthly concentrations of dust are 10–50 times higher than the indicators obtained by automated measurement methods, however, none of the methods revealed an excess of the maximum permissible concentrations in the atmospheric air of coarse dust. In order to verify the effectiveness of the city's environmental monitoring system, a comparison of the average monthly volume of dust emissions with its average monthly concentrations measured by automated and instrumental methods was carried out. The developed mathematical models of a polynomial nature indicate the dependence of average monthly concentrations on the average monthly volume of emissions, which is confirmed by high correlation coefficients $r = 0.658$ and $r = 0.975$ for automated and instrumental measurement methods, respectively. The established reliability of the results of measurements of average monthly concentrations of dust in the atmospheric air requires thorough research due to increasing the number and frequency of obtaining monitoring data, considering meteorological parameters, relief-forming factors, etc. It was noted that the primary task of improving the city's environmental monitoring system is to equip existing observation posts with devices for monitoring dust PM_{2.5} and PM₁₀, as well as to increase the number of active environmental monitoring posts.

References

- [1] Korableva, A.Y., Shapar, A.H., Herbylskyi, L.V. & Polyshchuk S.Z. (1997) *Antropohennye problemy ekologii [Anthropogenic problems of ecology]* D.: Vyd-vo «Promin», 142 p. (in Russian).
- [2] *Stratehiia rozvytku mista Kamianske na period do 2020 roku [Strategy for the development of Kamianske for the period up to 2020]*. (2014) Rishennia miskoi rady vid 26.12.2014 №1162-58/VI (in Ukrainian).
- [3] Posudin Yu.I. (2012) *Monitorynh dovkillia z osnovamy metrolohii [Environmental monitoring with the basics of metrology]: pidruchnyk*. – K.: 426 p. (in Ukrainian).
- [4] Batluk, V. A. (2001). *Osnovy ekologii i okhrana okruzhaiushchei pryrodnoi sredy [Fundamentals of ecology and environmental protection]*. Lvov: Afysha (in Russian).
- [5] Biliavskiy, H.O., Biliavskiy, R.S., Furdui, I.Yu. & Kostikov, H.O. (2006). *Osnovy ekologii [The foundations of ecology]*. Kyiv: Lybid (in Ukrainian).
- [6] Dudnikova, I.I. & Pushkin, S.P. (2007). *Monitorynh dovkillia [Environmental monitoring]*. Kyiv: YeU (in Ukrainian).

- [7] Ylyn, V. B. (1997). *Monitorynh tiazhelykh metallov prytenytelno k krupnym promyshlennym horodam [Monitoring of heavy metals in relation to large industrial cities]*. Ahrokhymyia, № 4, P. 81–86 (in Russian).
- [8] Klishenko, M.O. Pryshchepa, A.M. & Vozniuk N.M. (2006). *Monitorynh dovkillia [Environmental monitoring]*. Kyiv: «Akademiia» (in Ukrainian).
- [9] Shvets, V.Ya. & Prykhodchenko, A.H. *Ekolohycheskye problemy Dneprodzerzhynska [Environmental problems of Dneprodzerzhinsk]*. Dneprodzerzhynsk, 1997. 90 p. (in Russian).
- [10] Pasichnij, G.V., Serdjuk, S.M., (2002). Geoekologichni monitoringovi doslidzhennja vmistu vazhkih metaliv u gruntah tehnogenno zminenih landsaftiv (na prikladi m. Dniprodzerzhynsk) [Environmental monitoring studies of heavy metals in soils technologically altered landscapes (for example, m. Dniprodzerzhynsk)]. *Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Geol. Geog.* № 4, P. 161–166 (in Ukrainian).
- [11] Neposhyvailenko, N.O., Zberovskyi, O.V., Karpenko, O.O., Halata A.V. & Klymenko, T.K. (2011). Kompleksni doslidzhennia stanu dovkillia na terytorii mista Dniprodzerzhynska z vykorystanniam GIS-tekhnologii [Comprehensive studies of the state of the environment in the territory of the city of Dniprodzerzhinsk using GIS technologies]. *Zbirnyk naukovykh prats NHU*, 36(1), P. 177–183 (in Ukrainian).
- [12] Bahrii, I. D., Bilous, A. M., Vylkul, Yu. H. & Hozhyk, P. F. (2000). *Dosvid kompleksnoi otsinky ta kartohrafuvannia faktoriv tekhnogennoho vplyvu na pryrodne seredovyshe mist Kryvyi Rih ta Dniprodzerzhynska [Experience of comprehensive assessment and mapping of factors of man-made influence on the natural environment of the cities of Kryvyi Rih and Dniprodzerzhinsk]*. Kyiv: Feniks (in Ukrainian).
- [13] Perel'man, A.I., (2000). *Geohimija landshafta [Landscape geochemistry]*. Astereja, Kyiv (in Russian).
- [14] Zakon Ukrainy «Pro okhoronu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha» [Law of Ukraine «About Environmental Protection»]. *Information of the Verkhovna Rada*. 1991. № 41.
- [15] Metodychni vказivky dlia pidgotovky studentiv za spetsialnostiamy 101 «Ekolohiia» ta 103 «Nauky pro Zemliu» (2019) / k. heohr. n., dots. Hryb O. M., k. heohr. n., dots. Chuhai A. V. / Odesa: ODEKU. 58 p. (in Ukrainian).
- [16] Shevchenko, R.Iu. (2020) *Instrumentarii monitorynhu dovkillia mista Kyieva [Toolkit for environmental monitoring of the city of Kyiv]*. Monohrafiia. Kyiv: 324 p. (in Ukrainian).
- [17] Puchkov, L.A. & Vorobev A. E. (2000). *Chelovek y byosfera: vkhozhenye v tekhnosferu [Man and the biosphere: entry into the technosphere]*. Kharkiv: HPI (in Russian).
- [18] Stolberh, F. V. (2000). *Ekolohiia horoda [Ecology of the city]*. Kyev: Lybra (in Russian).
- [19] Bobyliov, Y.P., Brygadyrenko, V.V., Bulakhov, V.L., Gaichenko, V.A., Gasso, V.Y., Didukh, Y.P., et. al. (2014). *Ekologija [Ecology]*. Folio, Kharkiv (in Ukrainian).
- [20] Barh, I. M. (1997). *Narysy heolohichnoi istorii Dnipropetrovshchyny [Essays on the geological history of Dnipropetrovsk region]*. Dnipropetrovsk: «Alfa» (in Ukrainian).
- [21] Pashchenko, V. M. (1989). *Stepova fizyko-heohrafichna zona [Steppe physiographic zone]*. Heohrafichna entsyklopediia Ukrainy, № 3, P. 235–236 (in Ukrainian).
- [22] Hunko, S.O. Zakonomirnosti rozpodilu kadmiu v edafotopakh urbanizovanykh terytorii m. Kamianske [The regularity of cadmium dispersal at the urbanized terrain edaphotopes of the city of Kamianske]. Avtoref. dys. kand. biol. nauk, Dnipro, 2021. 25 s. http://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/dissertations/D08.051.04/autoreferat_6046399d5c7c2.pdf (in Ukrainian).
- [23] Davydova, N.D., Znamenskaya, T.I., & Lopatkin, D.A. (2014). Landscape-geochemical approach to solving problems of environmental pollution. *Contemporary Problems of Ecology*, № 7(3), P. 345–352. doi:10.1134/S1995425514030020