
ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

УДК 615.849 - 614.7:613

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.6-63.26>

ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ХІМІЧНИХ ПОЛЮТАНТІВ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСТІ МИКОЛАЄВІ У ВОЄННІ ЧАСИ

Григор'єв К. В., Алексєєва А. О.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили
вул. 68 Десантників, 10, 54003, м. Миколаїв
kossss.iop@gmail.com

На стаціонарних пунктах спостереження за програмою державного моніторингу якості атмосферного повітря ведуться спостереження за сьомма забруднюючими речовинами: суспендовані пилові частинки, SO₂, NO_x, CO, формальдегід, свинець та бенз(а)пірен. Деякі станції контролюють наявність додаткових забруднюючих речовин залежно від регіональних або місцевих викидів та наявності технічного потенціалу. Основними забруднюючими речовинами, за якими ведуться спостереження у ЄС, є: діоксид сірки, діоксид та оксид нітрогену, частинки PM₁₀ та PM_{2,5}, свинець. Індикативні вимірювання – це вимірювання, які відповідають вимогам щодо якості даних, котрі є менш суворими, ніж вимоги до фіксованих вимірювань. Індикативні вимірювання вмісту поллютантів у повітрі за допомогою компактних станцій добре справляються із завданням інформування користувачів про стан повітря. При цьому не виключається необхідність фіксованих вимірювань, які є джерелом офіційної інформації. Розбудова системи моніторингу та управління якістю повітря обов'язково має спиратися на регіональні (обласні) комплексні програми та стратегії, а також враховувати їх цілі та завдання.

Використання індикативного вимірювання або моделювання є слабо врегульованою нормативно-правовою базою України. Внаслідок цього наявна система моніторингу має обмежені дані про стан забруднення повітря на всій території, а також про довгострокову динаміку показників. Наприклад, на Миколаївщині сьогодні маємо недостатність стаціонарних постів спостереження, а використання станцій індикативних вимірювань дуже обмежено. Для врахування всі цих факторів на додачу до фіксованих спостережень необхідно також моделювати забруднення.

У роботі представлено матеріали досліджень авторів за вмістом хімічних поллютантів у повітрі м. Миколаєва за стаціонарними постами та станціями індикативних вимірювань. Показано, що середньомісячний вміст формальдегіду коливався в межах 0,0085–0,0155 мг/м³. Вміст пилу дорівнював 0,09 ± 0,02 мг/м³; максимальні концентрації досягали 0,015–0,020 мг/м³. Варіювання дрібнодисперсного пилу PM_{2,5} становило від 3 до 13 мкг/м³. Розмах варіювання дрібнодисперсного пилу PM₁₀ становив від 12 до 40 мкг/м³.

Показано, що комплексні індекси забруднення атмосфери (КІЗА) в останні роки були високими: для 2023 р. КІЗА = 10,80; для 2024 р. КІЗА = 11,91; для 2025 р. КІЗА = 11,82. Середні значення вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за результатами індикативних вимірювань перевищують у 1,5–1,6 рази відповідні величини фіксованих вимірювань, а максимальні значення вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва при фіксованих вимірюваннях перевищують в 1,6–1,8 разів максимальні значення, які зафіксовано при індикативних вимірюваннях. Тому при референтному рівні забруднення (наприклад, формальдегідом) екологічний моніторинг атмосферного повітря має бути організований не тільки за допомогою організації фіксованих вимірювань, а також доповнений індикативними вимірюваннями за допомогою комплексних компактних станцій, які призначені для здійснення індикативних вимірювань показників якості повітря. *Ключові слова:* екологічний моніторинг, фіксовані вимірювання, індикативні вимірювання, пил, формальдегід, індекс забруднення.

Environmental monitoring of atmospheric chemical pollutants in Mykolaiv during wartime. Grygoriev K., Aleksieieva A.

Stationary observation points under the state air quality monitoring programme observe seven pollutants: suspended particulate matter, SO₂, NO_x, CO, formaldehyde, lead and benz(a)pyrene. Some stations monitor additional pollutants depending on regional or local emissions and technical capacity. The main pollutants monitored in the EU are: sulphur dioxide, nitrogen dioxide and nitrogen oxide, PM₁₀ and PM_{2.5} particles, and lead. Indicative measurements are measurements that meet data quality requirements that are less stringent than those for fixed measurements. Indicative measurements of air pollutant levels using compact stations are effective in informing users about air quality. However, this does not exclude the need for fixed measurements, which are a source of official information. The development of an air quality monitoring and management system must be based on regional (provincial) comprehensive programmes and strategies, and take into account their goals and objectives.

The use of indicative measurement or modelling is poorly regulated by Ukraine's legal framework. As a result, the existing monitoring system has limited data on air pollution across the entire territory, as well as on long-term trends in indicators. For example, in the Mykolaiv region, there is currently a shortage of stationary observation posts, and the use of indicative measurement stations is very limited. To take all these factors into account, in addition to fixed observations, it is also necessary to model pollution.

© Григор'єв К. В., Алексєєва А. О., 2025

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

The paper presents the authors' research on the content of chemical pollutants in the air of Mykolaiv city based on stationary posts and indicative measurement stations. It is shown that the average monthly formaldehyde content ranged from 0.0085 to 0.0155 mg/m³. The dust content was 0.09 ± 0.02 mg/m³; maximum concentrations reached 0.015–0.020 mg/m³. The variation in fine dust PM2.5 ranged from 3 to 13 µg/m³. The range of variation in fine dust PM10 ranged from 12 to 40 µg/m³.

It has been shown that complex atmospheric pollution indices (CAPI) have been high in recent years: for 2023, CAPI = 10.80; for 2024, CAPI = 11.91; for 2025, CAPI = 11.82. According to indicative measurements, the average formaldehyde content in the atmospheric air of Mykolaiv exceeds the corresponding values of fixed measurements by 1.5–1.6 times, and the maximum values of formaldehyde content in the atmospheric air of Mykolaiv, according to fixed measurements, exceed the maximum values recorded during indicative measurements by 1.6–1.8 times. Therefore, at the reference level of pollution (for example, formaldehyde), environmental monitoring of atmospheric air should be organised not only through fixed measurements, but also supplemented by indicative measurements using complex compact stations designed to perform indicative measurements of air quality indicators. *Key words:* environmental monitoring, fixed measurements, indicative measurements, dust, formaldehyde, pollution index.

Постановка проблеми. Згідно з Угодою про асоціацію Україна зобов'язалася наблизити своє законодавство до низки директив, які встановлюють стандарти щодо обмеження вмісту певних видів забруднюючих речовин у повітрі. 14 серпня 2019 року прийнято Постанову КМУ «Деякі питання здійснення державного моніторингу у галузі охорони атмосферного повітря» № 827. Цей документ є підтвердженням зобов'язань імплементації законодавства у галузі навколишнього середовища відповідно до Угоди про асоціацію України з ЄС, а саме – імплементації Директиви 2008/50/ЄС. В рамках імплементації положень цієї Директиви 2008/50/ЄС у національне законодавство України пропонується запровадження екологічного моніторингу якості атмосферного повітря на підставі розширення фіксованих вимірювань за допомогою індикативних вимірювань показників якості повітря з врахуванням регіональних проблем територій.

Тому дослідження показників якості атмосферного повітря при організації індикативних вимірювань та застосування наявних станцій індикативних вимірювань показників якості атмосферного повітря у м. Миколаєві є надзвичайно актуальними.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю вдосконалення системи екологічного моніторингу атмосферного повітря, враховуючи регіональні особливості та типові регіональні характеристики.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження сприяє вдосконаленню наявних методів контролю за вмістом хімічних поллютантів в атмосферному повітрі агломерацій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В різних регіонах нашої держави, в різних агломераціях проводяться дослідження, які дозволяють вдосконалити систему екологічного моніторингу атмосферного повітря [1, 3–5, 7, 8]. Моніторинг здійснюють як на стаціонарних постах, так й з залученням станцій індикативних вимірювань. Вибір методу вимірювання визначають за концентрацією речовини. Високі концентрації вимагають точної фіксації результатів вимірювань, у той час як для низьких концентрацій достатньо приблизної оцінки. Є дослідження, які свідчать про необхідність оновлення

наявної системи моніторингу, а саме облаштування нових індикативних постів спостережень за станом атмосферного повітря, що дасть змогу вести спостереження на цих постах в режимі он-лайн за: CO, SO₂, NO_x, O₃, PM2,5, PM10.

Для кожної зони та агломерації визначається свій специфічний режим оцінки. За результатами НДР [6] маємо невідповідність вимогам Директиви 2008/50/ЄС кількості постів на Миколаївщині: мінімальна кількість пунктів відбору проб фіксованих вимірювань концентрацій забрудників в атмосферному повітрі – 3, при наявних 0. Тому актуальними залишаються дослідження, які присвячені спостереженням методам вимірювання та аналізу поллютантів в атмосферному просторі Миколаївщині.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Недостатньо вивченими залишаються питання оцінювання стану атмосферного повітря за вмістом хімічних поллютантів. Так, зокрема, не вивченим є поєднання/співставлення результатів фіксованих вимірювань хімічних поллютантів в атмосферному повітрі з результатами індикативних вимірювань.

Новизна. Із залученням даних наукової літератури розширено уявлення про комплексне оцінювання забруднення атмосферного повітря у міських агломераціях.

Методологічне або загальнонаукове значення. Матеріалами для дослідження виступали:

– результати визначення показників якості атмосферного повітря на 4 стаціонарних постах м. Миколаєва у 2023–24 рр., проведених лабораторією Миколаївського обласного центру з гідрометеорології;

– результати визначення показників якості атмосферного повітря Е 2023–2025 рр. за станціями індикативних вимірювань в м. Миколаєві, встановлених ЧНУ імені Петра Могили.

Враховано, що постійний екологічний моніторинг за станом атмосферного повітря у м. Миколаєві здійснюється Миколаївським обласним центром з гідрометеорології. Спостереження, в рамках моніторингу, за поллютантами: окис вуглецю (CO), пил, формальдегід (H₂CO), фтористий водень

(HF), двоокис азоту (NO_2), окис азоту (NO), двоокис сірки (SO_2), здійснюються, в 4-х контрольних пунктах спостереження (о 1, 7, 13, 19 годині у всі дні, крім неділі та святкових днів): санітарна зона (вул. Обсерваторна, 1), район інтенсивного автомобільного руху (вул. Чигрина – пр. Жовтневий), Промислова зона (вул. 12 Лінія – 7-а Повздовжня), центр міста (обласний Палац культури).

Матеріалами також виступали результати власних досліджень стану атмосферного повітря за індикативними вимірюваннями за допомогою встановлених в ЧНУ імені Петра Могили універсальних станцій (рис. 1, а–в). Дослідження проведено у період: січень 2023 р. – серпень 2025 р.

Усі ці станції дозволяли здійснювати контроль за показниками: температури, вологості, концентрації пилу $\text{PM}_{2,5}$ і PM_{10} , CO, NO_2 , NH_3 , H_2CO – в атмосферному повітрі та рівень потужності ефективної дози відкритої місцевості. Функціональні можливості станцій дозволяють не тільки отримувати оперативні дані про якість атмосферного повітря, але й накопичувати великі дані для оцінки і прогнозування індексів забруднення і ризиків для здоров'я населення, використовуючи для цього персональний кабінет на сайті www.eco-city.org.ua.

При обробці результатів дослідження використано методи математичної статистики та моделювання, статистичної обробки даних, методи графічного представлення даних дослідження.

Викладення основного матеріалу. За результатами моніторингу на стаціонарних постах:

1. для CO ($\text{ГДК}_{\text{с.д.}} = 3 \text{ мг/м}^3$; $\text{ГДК}_{\text{м.р.}} = 5 \text{ мг/м}^3$): середньомісячні концентрації складали $2,0 \pm 1,1 \text{ мг/м}^3$; максимальні концентрації досягали 8–9 мг/м^3 , перевищуючи таким чином $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$, $\text{ГДК}_{\text{м.р.}}$. Перевищення $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$, носили постійний характер, а щодо перевищення $\text{ГДК}_{\text{м.р.}}$ – то частота цих перевищень навіть збільшилася у 2024 р.;

2. для пилу ($\text{ГДК}_{\text{с.д.}} = 0,15 \text{ мг/м}^3$; $\text{ГДК}_{\text{м.р.}} = 5 \text{ мг/м}^3$): середньомісячні концентрації складали $0,09 \pm 0,02 \text{ мг/м}^3$; максимальні концентрації перевищували $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$, досягаючи 0,015–0,020 мг/м^3 ;

3. для SO_2 ($\text{ГДК}_{\text{с.д.}} = 0,05 \text{ мг/м}^3$; $\text{ГДК}_{\text{м.р.}} = 0,5 \text{ мг/м}^3$): середньомісячні концентрації складали $0,006 \pm 0,002 \text{ мг/м}^3$ – таким чином, не спостерігали перевищень $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$, $\text{ГДК}_{\text{м.р.}}$;

4. для NO_2 ($\text{ГДК}_{\text{с.д.}} = 0,04 \text{ мг/м}^3$; $\text{ГДК}_{\text{м.р.}} = 0,2 \text{ мг/м}^3$): середньомісячні концентрації складали $0,06 \pm 0,02 \text{ мг/м}^3$ – таким чином перевищували $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$; максимальні концентрації також перевищували $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$, досягаючи 0,19 мг/м^3 ;

5. для NO ($\text{ГДК}_{\text{с.д.}} = 0,06 \text{ мг/м}^3$; $\text{ГДК}_{\text{м.р.}} = 0,1 \text{ мг/м}^3$): середньомісячні концентрації складали $0,015 \pm 0,002 \text{ мг/м}^3$; характерні щомісячні випадки досягнення $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$;

6. для HF: при $\text{ГДК}_{\text{с.д.}} = 0,005 \text{ мг/м}^3$; $\text{ГДК}_{\text{м.р.}} = 0,019 \text{ мг/м}^3$ середньомісячні концентрації складали $0,003 \pm 0,001 \text{ мг/м}^3$; максимальні концентрації перевищували $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$, $\text{ГДК}_{\text{м.р.}}$, досягаючи 0,017–0,022 мг/м^3 ; перевищення $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$ носило стійкий характер (щомісячні випадки такого перевищення);

7. для H_2CO : при $\text{ГДК}_{\text{с.д.}} = 0,003 \text{ мг/м}^3$; $\text{ГДК}_{\text{м.р.}} = 0,035 \text{ мг/м}^3$ середньомісячні концентрації складали $0,02 \pm 0,01 \text{ мг/м}^3$; максимальні концентрації перевищували $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$, $\text{ГДК}_{\text{м.р.}}$, досягаючи 0,07 мг/м^3 ; перевищення $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$, $\text{ГДК}_{\text{м.р.}}$ носило стійкий характер (щомісячні випадки такого перевищення).

Річна динаміка зміни вмісту пилу відображена на рис. 2.

За результатами моніторингу за допомогою станцій індикативних вимірювань динаміка дрібнодисперсних фракцій пилу зображена на рис. 3.

Розмах варіювання дрібнодисперсного пилу $\text{PM}_{2,5}$ становив від 3 до 13 мкг/м^3 . Розмах варіювання дрібнодисперсного пилу PM_{10} становив від 12 до 40 мкг/м^3 .

Середньомісячний вміст формальдегіду по місту коливався в межах 0,0085–0,0155 мг/м^3 (0,003 $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$), концентрація фтористого водню в середньому по місту була рівна 0,0018 мг/м^3 (0,005 $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$), концентрація діоксиду азоту в середньому по місту дорівнювала 0,037 мг/м^3 (0,04 $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$) та вміст пилу по місту в середньому дорівнював 0,075 мг/м^3 (0,09 $\text{ГДК}_{\text{с.д.}}$).

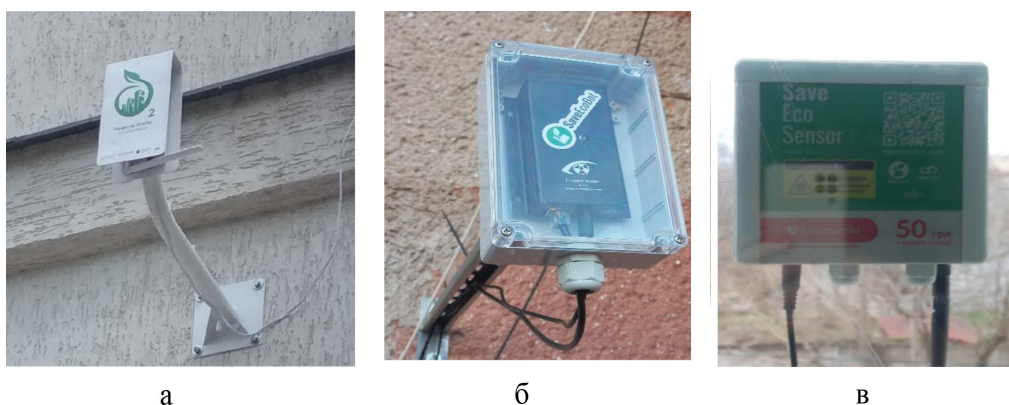


Рис. 1. Станції моніторингу стану атмосферного повітря у ЧНУ імені Петра Могили а) Oxygen Air Fresh Max; б) Save EcoBot; в) Save Eco Sensor

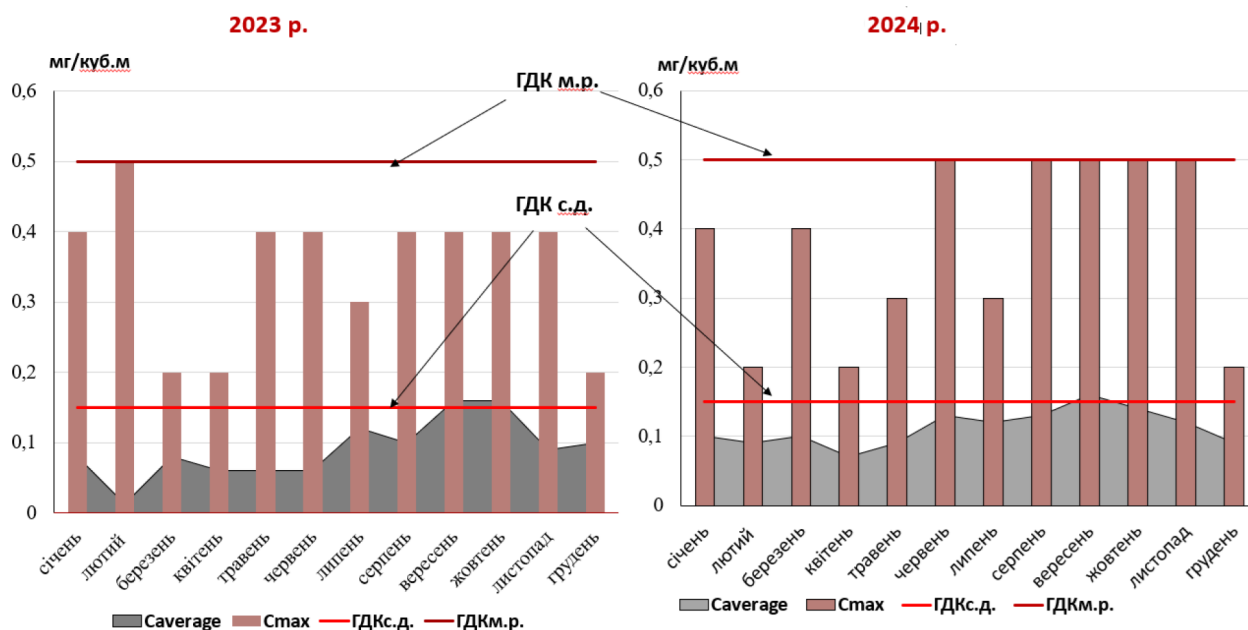


Рис. 2. Динаміка вмісту пилу у повітрі м. Миколаєва впродовж 2023 р. і 2024 р. за результатами моніторингу на стаціонарних постах

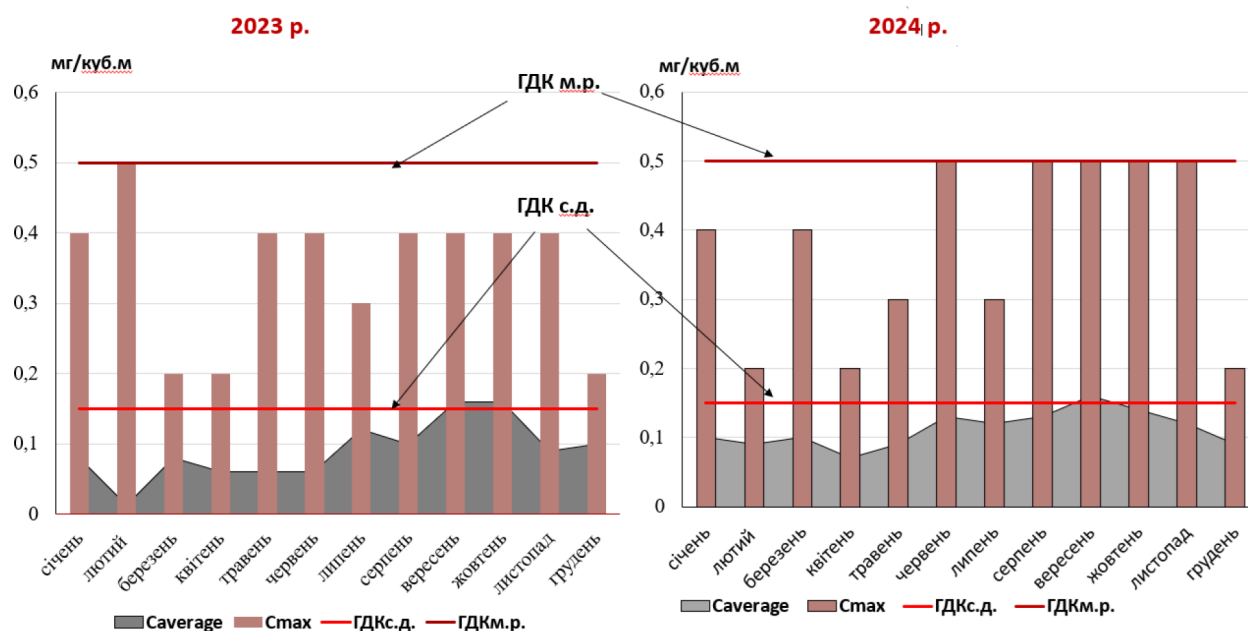


Рис. 3. Динаміка дрібнодисперсних фракцій пилу у повітрі м. Миколаєва впродовж 2023 р. і 2024 р. за результатами моніторингу на станціях індикативних вимірювань

Комплексна оцінка якості атмосферного повітря за середньорічними значеннями ІЗА₇ є наступними:

- для CO: за 2023 р. – 0,83; за 2024 р. – 0,85;
- для SO₂: за 2023 р. – 0,03; за 2024 р. – 0,03;
- для пилу: за 2023 р. – 0,89; за 2024 р. – 0,72;
- для NO₂: за 2023 р. – 0,97; за 2024 р. – 1,01;
- для NO: за 2023 р. – 0,44; за 2024 р. – 0,44;
- для HF: за 2023 р. – 4,64; за 2024 р. – 4,30;
- для H₂CO: за 2023 р. – 2,96; за 2024 р. – 4,98.

Як видно з отриманих результатів ІЗА, серед 7 поллютантів, за якими ведеться моніторинг

в м. Миколаєві, найбільше впливають на рівень забруднення атмосферного повітря міста наступні поллютанти: 1 місце – H₂CO; 2 місце – HF; 3 місце – NO₂.

Комплексна оцінка рівня забруднення атмосферного повітря через визначення показника КІЗА, яка здійснена за 5 найбільш небезпечними поллютантами (як вимагає методика розрахунку): H₂CO, HF, NO₂, CO, пил, поллютантами свідчила:

- для 2023 р. КІЗА = 10,80 → рівень забруднення високий;

- для 2024 р. КІЗА = 11,91 → рівень забруднення високий;
- для 2025 р. КІЗА = 11,82 → рівень забруднення високий.

Апроксимація цих даних за допомогою лінії регресії вказала на наявність тенденції до зростання ($R^2 = 0,99$) забруднення атмосферного повітря м. Миколаєва з середньорічним темпом зростання 1,0. Це свідчить, що вже у наступних роках можемо отримати рівень забруднення атмосферного повітря м. Миколаєва як дуже високий (за показником КІЗА).

Ми провели порівняльний аналіз величин показників вмісту формальдегіду у м. Миколаєві у період липень 2024 р. – січень 2025 р. Матеріалами дослідження виступали результати вимірювання вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міста за станцією індикативних вимірювань (рис. 1) та результати вимірювань на стаціонарних постах у м. Миколаєві. На стовбчиковій діаграмі (рис. 4) відображено результати (середні значення) фіксованих вимірювань та результатів індикативних вимірювань вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва.

Як можна бачити, середні значення вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за результатами індикативних вимірювань перевищують у 1,5–1,6 рази відповідні величини фіксованих вимірювань, а за максимальними значеннями навпаки: максимальні значення вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва при фіксованих вимірюваннях перевищують в 1,6–1,8 разів максимальні значення, які зафіксовано при індикативних вимірюваннях. Цей факт ще раз підтверджує, що при референтному рівні забруднення (наприклад, формальдегідом) екологічний моніторинг атмосферного повітря має бути організований не тільки за допомогою організації фіксованих вимірювань, а також доповнений індикативними вимірюваннями

за допомогою комплексних компактних станцій, які призначені для здійснення індикативних вимірювань показників якості повітря.

Головні висновки. Середньомісячний вміст формальдегіду по місту коливався в межах 0,0085–0,0155 мг/м³. Вміст пилу дорівнював $0,09 \pm 0,02$ мг/м³; максимальні концентрації перевищували ГДК_{с.д.}, досягаючи 0,015–0,020 мг/м³. Варіювання дрібнодисперсного пилу PM_{2,5} становив від 3 до 13 мкг/м³. Розмах варіювання дрібнодисперсного пилу PM₁₀ становив від 12 до 40 мкг/м³.

Комплексна оцінка рівня забруднення атмосферного повітря свідчила про показники високого рівня забруднення: для 2023 р. КІЗА = 10,80; для 2024 р. КІЗА = 11,91; для 2025 р. КІЗА = 11,82.

Середні значення вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за результатами індикативних вимірювань перевищують у 1,5–1,6 рази відповідні величини фіксованих вимірювань, а максимальні значення вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва при фіксованих вимірюваннях перевищують в 1,6–1,8 разів максимальні значення, які зафіксовано при індикативних вимірюваннях. Тому при референтному рівні забруднення (наприклад, формальдегідом) екологічний моніторинг атмосферного повітря має бути організований не тільки за допомогою організації фіксованих вимірювань, а також доповнений індикативними вимірюваннями за допомогою комплексних компактних станцій, які призначені для здійснення індикативних вимірювань показників якості повітря.

Перспективи подальших досліджень. Продовження порівняльних досліджень рівня атмосферних поллютантів за допомогою фіксованих вимірювань та за допомогою індикативних вимірювань. Картографія результатів моніторингу за хімічними та радіонуклідними поллютантами.

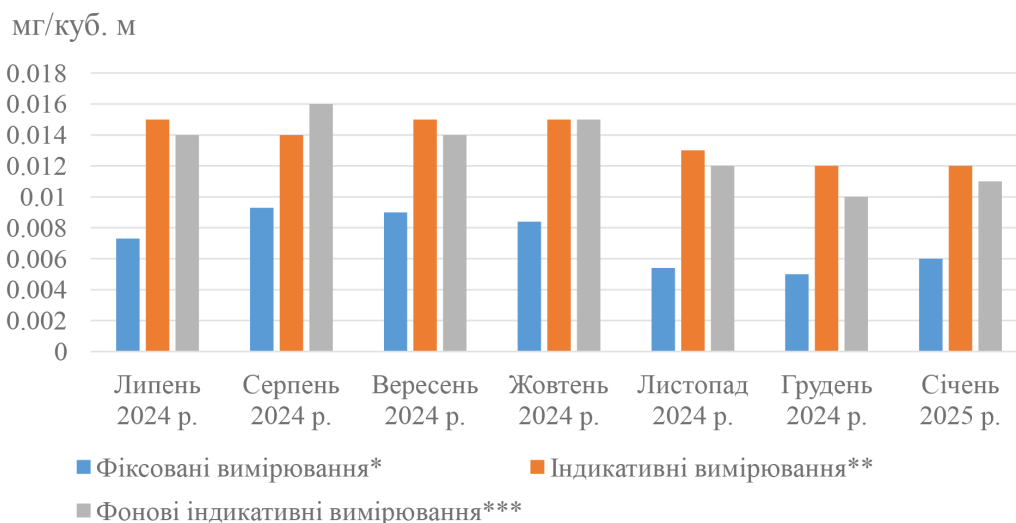


Рис. 4. Середньомісячні значення вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва за липень 2024 р. – січень 2025 р. за результатами фіксованих вимірювань та результатами індикативних вимірювань

Література

1. Bakharev V. S., Marenych A. V., Zhuravska M. K. The adequacy of the existing network and justification of proposals for the of stationary atmospheric air state observation posts location in Kremenchuk. Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. 2016. Vol. 4(99). P. 80–87.
2. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. 2008.
3. Андрієнко М. Стан і проблеми функціонування системи моніторингу довкілля у сфері реалізації державної екологічної політики. Інвестиції: практика та досвід. 2017. № 17. С. 75–81.
4. Бахарев В. Недосконалість існуючої системи екологічного моніторингу атмосферного повітря на рівні урбосистеми: причини, наслідки, шляхи вдосконалення. Екологічна безпека. 2016. Vol. 5. С. 76–81.
5. Кирієнко П. Г., Варламов Є. М., Квасов В. Є., Лобов С. О. Організація моніторингу за станом атмосферного повітря у м. Харків. Екологічна безпека та природокористування. № 48(8), 2023. С. 81–90.
6. Розроблення реєстру стаціонарних постів спостереження атмосферного повітря відомчих та регіональних систем моніторингу : звіт про НДР. УкрНДІ екологічних проблем. Харків, 2020. 249 с.
7. Суха Н., Григор'єва Л., Алексєєва А. Індикативні вимірювання вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі м. Миколаєва. Проблеми хімії та сталого розвитку. 2022. № 2. С. 69–76.
8. Ткачук О. П., Вергеліс В. І. Екологічна ефективність громадського моніторингу атмосферного повітря в Україні. Екологічні науки. 2020. Т. 1(58). С. 225–232.

Дата першого надходження рукопису до видання: 27.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 15.12.2025

Дата публікації: 31.12.2025