

УДК 502:504.3.054:504.064

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.2.33>

ПЕРЕВАГИ ІНТЕГРОВАНОГО ПІДХОДУ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ

Ямборак Р.С. – к.геогр.н., доцент,
доцент кафедри хімії,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

В сучасному світі забруднення повітря стає все більш актуальною проблемою. Це вимагає особливого підходу до її вирішення і в подальшому для прийняття ефективних заходів управління та формування функції прогнозування. Особливого значення набуває процес оцінювання атмосферного повітря на регіональному рівні. Відомо, що в Україні паралельно діють державна та громадська системи моніторингу якості атмосфери. Згідно статистичних даних державна система моніторингу відбирає проби повітря на стаціонарних постах з періодичністю 3–4 разів на добу та шість днів на тиждень. В основному такі пости розташовані у великих агломераціях; невеликі регіони, особливо сільського типу позбавлені наявності таких постів спостереження. Крім того сучасний світ диктує потреби в модернізації стаціонарного обладнання на постах спостереження та одночасного використання уніфікованої методології. Тому значного поширення набула громадська система моніторингу із більшою розгалуженістю та цілодобовою доступністю. Особливо це актуально для невеликих міських та сільських поселень. Саме тому у статті запропоновано інтегрований підхід для оцінювання якості повітря та аналізу його впливу на здоров'я населення із використанням відомих оригінальних методик, які в свою чергу можуть призвести до унікальних результатів. Розглянуто актуальну проблему оцінювання якості атмосферного повітря на регіональному рівні. Поєднано різні методи вимірювання та моделювання для отримання комплексної інформації про стан атмосферного середовища. Запропоновано складові інтегрованого підходу до оцінювання якості атмосфери: моніторинг забруднювачів, дистанційне зондування, математичне моделювання і статистичний аналіз даних. Розглянуто основні компоненти даного підходу. Вказано на переваги запропонованого методу. Наведено приклади успішного впровадження інтегрованого підходу до оцінювання якості атмосферного повітря на регіональному рівні.

Ключові слова: громадський моніторинг, індекс якості повітря, екологічна якість, інтегрований підхід, оцінювання, експозиція, тверді частинки РМ, моніторинг забруднювачів, математичне моделювання.

Yamborak R.S. Advantages of an integrated approach to assessing air quality at the regional level include

In the modern world, air pollution is becoming an increasingly pressing issue, necessitating a unique approach for its resolution and subsequent implementation of effective management measures and forecasting functions. The assessment of air quality at the regional level holds particular significance. In Ukraine, both governmental and public monitoring systems for air quality operate concurrently. According to statistical data, the state monitoring system collects air samples at stationary stations with a frequency of 3–4 times per day and six days per week, mainly located in large urban agglomerations. Small regions, especially those of rural nature, lack such observation posts. Furthermore, the demands of the modern world dictate the need for the modernization of stationary equipment at observation posts and the simultaneous utilization of a standardized methodology. Hence, the public monitoring system with greater branching and 24/7 accessibility has gained significant prevalence, especially in small urban and rural settlements. Therefore, this article proposes an integrated approach for assessing air quality, analyzing its impact on public health, using known original methodologies that can lead to unique results. The article addresses the pertinent issue of assessing air quality at the regional level, combining various measurement and modeling methods to obtain comprehensive information about the state of the atmospheric environment. The components of the integrated approach to air quality assessment are outlined, including pollutant monitoring, remote sensing, mathematical modeling, and statistical data analysis. The advantages of the proposed method are highlighted, and examples of successful implementation of the integrated approach to assessing air quality at the regional level are provided.

Key words: public monitoring, air quality index, environmental quality, integrated approach, assessment, exposure, PM particulate matter, pollutant monitoring, mathematical modeling.

Постановка проблеми. Ключову роль у забезпеченні всього живого на планеті, а також екологічно чистого простору для життєдіяльності людства відіграє атмосферне повітря. Різноманітні антропогенні викиди становлять серйозні наслідки для екосистем в цілому та здоров'я населення зокрема. Забруднення атмосферного повітря негативно впливає на здоров'я населення. Деградаційних процесів зазнають дихальні та серцево-судинні системи, зростає ризик загострення хронічних хвороб. Статистика показує, що Україна має найбільшу кількість смертей пов'язаних із забрудненням атмосферного повітря, на кожні 100000 людей. Своєю чергою, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), 92% населення світу дихає забрудненим повітрям. Отже, дослідження якості атмосферного повітря на регіональному рівні з інтегрованим підходом є ключовим інструментом для ефективного вирішення проблем забруднення повітря та забезпечення сталого розвитку у регіонах.

Постановка завдання. Важливим завданням забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку є безперервний процес оцінювання якості компонентів атмосфери. Це завдання має спрямовувати дослідження на вивчення проблем якості повітря в регіональному контексті та розробку конкретних стратегій для зменшення процесів забруднення повітря в динаміці на регіональному рівні.

Мета досліджень полягає в створенні фундаменту для прийняття інформованих рішень щодо поліпшення якості атмосферного повітря, забезпечення здоров'я населення та розвитку регіону в умовах сталості та екологічної відповідальності.

Задачами досліджень є вивчення кумулятивного впливу джерел дисперсного забруднення на атмосферну якість регіону та здоров'я населення.

Об'єктом досліджень є динаміка екологічної якості атмосферного повітря досліджуваного середовища із використанням інтегрованого підходу до оцінювання якості атмосферного повітря на регіональному рівні із використанням різноманітних методів та джерел статистичних даних.

Предметом досліджень є параметри твердих частинок (PM – Particulate Matter), розділених на фракції в залежності від розмірів (PM₁; PM₅; PM₁₀).

Основні результати досліджень отримані на підставі екологічних спостережень із застосуванням системного аналізу динаміки твердих забруднюючих часточок атмосфери. Аналітичні дослідження виконані методами числового математичного моделювання із використанням відповідних програмних продуктів.

Науковою новизною є застосування інтегрованого підходу оцінювання динаміки екологічного стану атмосфери досліджуваної сільської місцевості регіонального рівня для подальшого забезпечення здоров'я населення та збереження навколишнього середовища.

Практичним значенням пропонованого дослідження є можливість збору комплексної інформації про стан атмосферного повітря, використовуючи дані громадської системи моніторингу досліджуваної території регіонального рівня.

Виклад основного матеріалу дослідження. На даний момент Україна знаходиться на шляху до гармонізації свого законодавства з законодавством Європейського Союзу, включаючи директиви щодо якості повітря [1]. Україна має намір адаптувати своє законодавство до стандартів ЄС для вирішення проблем, пов'язаних із забрудненням повітря та захистом довкілля у відповідності до положень Директиви 2008/50/ЄС [2] щодо контролю та оцінки якості атмосферного повітря, імплементація яких, зокрема, передбачає встановлення верхньої та нижньої межі оцінки, а також щодо зменшення впливу твердих частинок. Тверді частинки – дрібний пил, розділений на фракції в залежності від розмірів. Частинки розміром

до 10 мкм (PM10) мають розміри до 10 мкм і осідають в носі та гортані. Частинки розміром приблизно 2,5 мкм (PM2,5) потрапляють в легені при вдиху. Частинки розміром менші за 1 мкм (PM1) потрапляють на альвеоли і потім у кровоносну систему. Найнебезпечнішими частинками є частинки розмірами до 10 мкм, що можуть проникати глибоко в легені. Існує взаємозв'язок між збільшенням концентрації таких частинок у людському організмі та зростанням смертності населення. Положення Директиви 2008/50/ЄС [2] встановлюють основні граничні значення захисту здоров'я населення: для PM10 середньорічне – 40 мкг/м³, 24-годинне граничне значення – 50 мкг/м³, не може перевищуватися більш ніж 35 разів протягом календарного року; для PM 2,5 цільове значення та граничне значення для етапу 1 – середньорічне – 25 мкг/м³; для PM 2,5 граничне значення для етапу 2 – середньорічне – 20 мкг/м³ [2].

Результати досліджень. Інтегрований підхід до оцінювання якості атмосферного повітря на регіональному рівні базується на використанні різноманітних методів та джерел даних. Першим етапом є моніторинг забруднювачів із використанням альтернативних систем. Такі системи дають можливість отримання якісної оперативної інформації в будь-яку пору доби чи року. Особливо це є актуальним в час проведення воєнних дій на території нашої держави, оскільки атмосферне повітря відноситься до надзвичайно мобільних систем і володіє високим ступенем міграції. Тому громадські системи моніторингу атмосферного повітря є чи не єдиним джерелом відповідної інформації, особливо у невеликих поселеннях. Наші дослідження проводились в невеликому сільському поселенні із незначним впливом транспортних викидів із урахуванням вибору речовин для аналізу у відповідності до місцевих умов. В даній сільській місцевості відсутні ефективні опалювальні системи і, відповідно, енергоефективні технології для опалення, такі як сучасні твердопаливні котли чи геотермальні системи не мають права на впровадження. Під час опалювального сезону сільські жителі використовують дрова, різну біомасу для опалення. Згорання цих матеріалів вивільняє тверді частинки, які, потрапляючи у повітря створюють негативний вплив на його якість. Географія досліджуваної місцевості не дозволяє прокладання системи газопроводів, тому такий чистий вид палива як природний газ, що має менший негативний вплив на якість повітря не використовується. Практично відсутня оптимізація управління сільськими відходами, відповідно в осінньо-весняні періоди інтенсивно відбувається процес спалювання сільськогосподарських решток. Відсутність відповідної інфраструктури вплинуло на віковий поріг населення та його фінансову спроможність. Тому в побуті переважно використовується пічне опалення із використанням деревини різних порід. Традиційне пічне опалення має свої переваги і недоліки, і вони можуть різнитися залежно від конкретних умов та контексту його використання. До переваг використання пічного опалення можна віднести: надійність та простоту, доступність палива, тепловий комфорт, незалежність від централізованих систем. Недоліки у використанні традиційного пічного опалення: забруднення повітря, низька ефективність, обмежені можливості регулювання температури, потенційний пожежний ризик. Тому до використання традиційних систем опалювання необхідно докласти зусиль для забезпечення їхньої ефективності та безпеки, а також зменшення негативного впливу на здоров'я людей і довкілля. Важливим чинником при оцінюванні впливу твердих часточок на стан здоров'я людей та навколишнє середовище є тривалість та інтенсивність експозиції. Тривалість експозиції показує на те, як довго людський організм або досліджуване середовище піддавалися впливу твердих частинок PM в результаті

використання пічного опалення. Інтенсивність експозиції безпосередньо пов'язана із концентрацією твердих частинок РМ в атмосферному повітрі. У нашому випадку це короткотермінова, але високоінтенсивна експозиція, яка з високим ступенем ймовірності здатна викликати гострі реакції (респіраторні проблеми, дерматологічні реакції, неврологічні симптоми, загальну слабкість та втому). В контексті вище сказаного обґрунтовано використання лише РМ₂, та РМ₁₀, які є складовою продуктів згорання таких речовин як дерево, вугілля або сільськогосподарські залишки і в подальшому можуть бути використані як показники для визначення рівня твердих частинок для отримання репрезентативної інформації про стан повітря та розрахунку AQI [3, 4, 5].

Другим етапом інтегрованого підходу до оцінювання якості атмосферного повітря є використання дистанційного зондування за допомогою супутникових технологій. Це доповнює результати місцевого моніторингу та надає можливість отримати загальну картину забруднення досліджуваного регіону. До основних методів дистанційного зондування відносять: супутникове зондування, літаки та дрони, радари, балонні зонди. Оскільки в умовах військових дій на території нашої держави використання дистанційного зондування для оцінювання якості повітря є недоцільним, в рамках інтегрованого підходу до оцінювання якості атмосферного повітря існує можливість широкого використання основних компонент громадського моніторингу: датчики якості повітря, встановлені на досліджуваних територіях, використання мобільних додатків, які дозволяють людям легко відстежувати та спільно ділитися вимірюваннями, а також створювати мапи зон забруднення повітря. Існують веб-платформи, які об'єднують дані великої кількості громадських моніторингових ініціатив, надаючи можливість взаємодії та вивчення широкого обсягу даних про якість повітря [6, 7, 8].

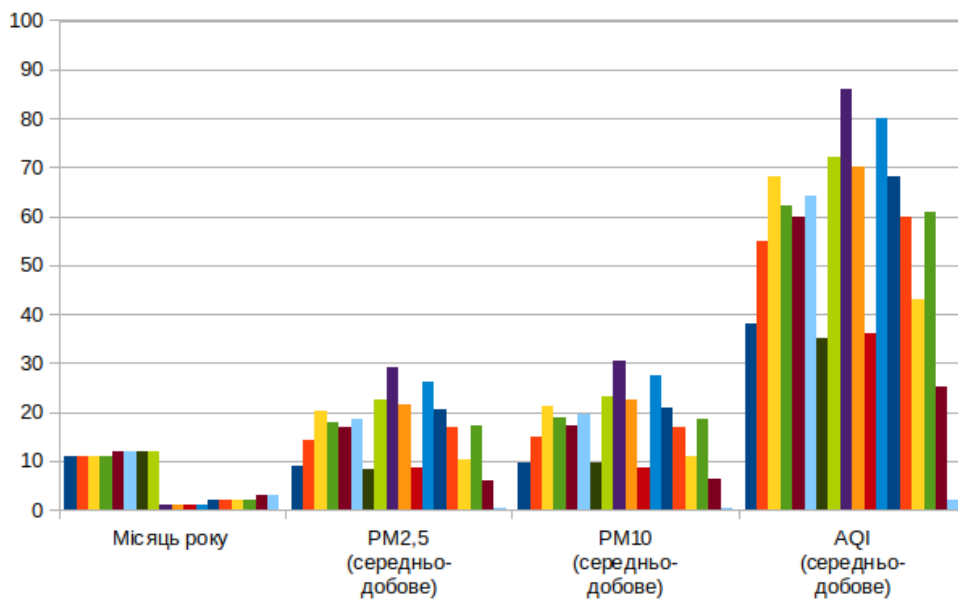


Рис. 1. Динаміка екологічних параметрів в часовому просторі за період спостереження (2020–2023 – осінньо-зимово-весняний період)

У приватних секторах використовуються пристрої для моніторингу якості повітря. Особисті монітори зазвичай легкі та компактні і можуть надсилати дані в режимі реального часу на смартфон чи інший пристрій; можуть бути корисними інструментами для наукового дослідження якості повітря в конкретних умовах.

Третім етапом інтегрованого підходу до оцінювання якості атмосферного повітря є математичне моделювання. Моделі атмосферного забруднення дозволяють прогнозувати динаміку забруднення повітря та виявляти потенційні ризики для здоров'я населення та навколишнього середовища. Насамперед, проведено визначення мети і модельних завдань із наступним розв'язком модельних завдань функції прогнозування бажаної якості досліджуваного середовища. Наступним кроком складено вхідну первинну модельну схему в часовому просторі. Точність такої моделі базується на врахуванні фізико-хімічних процесів, що відбуваються в навколишньому середовищі. Після цього виконано подальшу схематизацію розрахункових значень елементів моделі. Відповідно до теорії подібності обрано параметри моделі із встановленням кінцевих граничних умов. При цьому застосовано схему: екологічні параметри \leftrightarrow їхня математична модель (система математичних рівнянь) \leftrightarrow фізико-математична модель [3, 8, 9]. В результаті математичної обробки показників екологічних параметрів розроблено експоненційну оптимізуючу функцію (функцію бажаності) із відповідною оцінкою d із використанням формули [10]:

$$d = \exp [- \exp (- y)]$$

де

\exp – прийняте позначення експоненти;

y – величина оцінюваного показника.

Під «бажаністю» d розуміють бажаний рівень параметру оптимізації, за умови зміни d в межах 0,0 ... 1,0 (табл. 1) [10].

Таблиця 1

Шкала бажаності рівнів якості

Параметр оптимізації d	Рівень якості
$\text{Lim } d = 1$	Максимально можливий
1,00 ... 0,80	Допустимий, дуже високий рівень якості
0,80 ... 0,60	Допустимий, достатньо високий
0,60 ... 0,37	Допустимий і достатній
0,37 ... 0	Недопустимий
$\text{Lim } d = 0$	Максимально не бажаний

Значення оцінюваних параметрів оптимізації перетворюються у відповідні бажаності d , після чого формується узагальнена функція «бажаності» D , яка є середнім геометричним бажаностей окремих параметрів оптимізації. Таким чином, узагальнена функція «бажаності» D є комплексним інтегральним показником еколого-критеріального оцінювання атмосферного повітря. Аналізуючи результати оцінювання якості атмосферного повітря встановлено достатньо низьку якісну оцінку D за відповідний період спостереження.

Висновки. Використання інтегрованого підходу до оцінювання якості атмосферного повітря дозволяє комплексно врахувати різні аспекти впливу забруднюючих речовин та має ряд переваг такого застосування:

- 1) інтегрований підхід дозволяє оцінювати одночасно кілька параметрів;
- 2) інтегрований підхід дозволяє використовувати дані з різних джерел як систем державного так і громадського моніторингу, використовуючи при цьому кількісну характеристику забруднювачів, дистанційне зондування, та результати математичного моделювання;
- 3) інтегроване оцінювання враховує тривалість та інтенсивність експозиції, що є надзвичайно важливим для розуміння впливу на здоров'я населення;
- 4) методика інтегрованого оцінювання адаптована до різноманітних умов для сільського чи міського поселення з врахуванням погодних та сезонних умов.

Загалом вплив твердих частинок РМ на здоров'я є комплексним та одночасно залежить від концентрації частинок, тривалості експозиції, індивідуальних факторів населення та середовища їхнього проживання. Тому громадський моніторинг якості атмосферного повітря слугує інструментом для взаємодії між різними ланками населення, науковцями, державними органами та сприяє прийняттю рішень стосовно зменшення забруднення атмосферного повітря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря: постанова від 14 серпня 2019 р. № 827 / Кабінет міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%B0#Text> (дата звернення: 25.11.23).
2. Про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи: Директива 2008/50/ЄС Європейського парламенту та Ради від 21 травня 2008 року / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_950#Text (дата звернення: 25.11.23).
3. Ямборак Р.С., Крачан Т.М. Особливості комплексного узагальненого оцінювання екологічної якості атмосферного повітря. Науковий журнал «Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки» № 129. С. 331-338.
4. Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року: Закон України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення: 25.11.23).
5. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля: проект / Кабінет міністрів України. URL: <https://itd.rada.gov.ua/billInfo/Bills/pubFile/1284124> (дата звернення: 25.11.23).
6. Стан повітря в точці. *Ecoinfo*: веб-сайт. URL: https://ecoinfo.pro/site/any_points (дата звернення: 01.10.21–30.11.23).
7. Все про повітря. Програма «Чисте повітря для України»: веб-сайт. URL: <https://cleanair.org.ua/> (дата звернення: 25.11.23).
8. Карта моніторингу якості повітря *EcoCity*: веб сайт. URL: <https://eco-city.org.ua/?zoom=5&lat=50.748246&lng=24.181703&station=345&random=8443391> (дата звернення: 01.10.21–30.11.23).
9. Забруднення повітря в Україні – погляд з космосу: веб-сайт. URL: <https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2020/11/cleanair.org.ua-ukraine-space-ua-final-web.pdf>. – С. 24-27.
10. Ямборак Р.С. Обґрунтування архітектоніки ГІС-моделі прогнозування гео-екологічного стану гідрологічних систем. Науковий вісник Волинського державного університету ім. Лесі Українки – 2007 – Вип. 1. – С. 75-84.