

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА**

Факультет геології, географії, рекреації і туризму

Кафедра фізичної географії та картографії

До захисту допустити
Зав. кафедри _____ доцент **Анатолій БАЙНАЗАРОВ**
« _____ » _____ 2025 р.

**МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УМОВАХ
ВОЄННИХ ДІЙ (НА ПРИКЛАДІ М. ХАРКІВ)
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

Виконав: студент 4-го курсу д.ф.н,
групи ГФ- 41
спеціальність: 106 Географія
освітня програма: Фізична географія, моніторинг і
кадастр природних ресурсів
Денис Володимирович ШИШКОВ
Науковий керівник:
доцент, к.геогр.н. **Оксана ЗАЛЮБОВСЬКА**

Кваліфікаційна робота захищена з оцінкою

Голова ЕК **Валентина РЕДІНА**
Секретар ЕК **Тетяна БУЛГАКОВА**
« _____ » _____ 2025 р.

Харків – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМУ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ	5
1.1. Законодавча база моніторингу якості атмосферного повітря.....	5
1.2. Міжнародний досвід моніторингу якості атмосферного повітря	18
1.3. Основні забруднювачі атмосферного повітря.....	29
РОЗДІЛ 2. НАЦІОНАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	34
2.1. Моніторинг атмосферного повітря в Україні	34
2.2. Нормування забруднень. Індекси якості атмосферного повітря.	40
2.3. Організація моніторингу атмосферного повітря в м. Харків.....	44
РОЗДІЛ 3. СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ м. ХАРКІВ В УМОВАХ ВОЄННИХ ДІЙ	52
3.1. Основні джерела забруднення повітря в місті Харкові.....	52
3.2. Аналіз забруднення повітря в м. Харків станом на 2021 та 2024 роки .	54
3.3. Перспективи дослідження стану атмосферного повітря в м. Харків в умовах воєнних дій.....	58
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68

ВСТУП

У XXI столітті питання забруднення атмосферного повітря набуло критичного значення в контексті зростання техногенного навантаження, урбанізації та надзвичайних ситуацій. Особливої гостроти ця проблема набула в умовах збройного конфлікту на території України, коли через бойові дії різко змінюється екологічна ситуація в регіонах. Місто Харків, як один із найбільших індустріальних, наукових і транспортних центрів східної України, з початку повномасштабної війни зазнало значних руйнувань. Вибухи, пожежі, знищення інфраструктури та техногенні аварії спричинили викиди шкідливих речовин у повітряне середовище, що викликає обґрунтоване занепокоєння щодо стану здоров'я населення та загального екологічного балансу міста.

У цих умовах актуальним постає аналіз якості атмосферного повітря та встановлення просторових і часових змін його складу. Проведення моніторингу дозволяє виявити зони найбільшого забруднення, оцінити ризики для довкілля та здоров'я людей, а також сформувані обґрунтовані рекомендації для подолання наслідків техногенного навантаження. Ураховуючи, що більшість традиційних систем спостереження зазнали порушень, важливою складовою сучасного дослідження є використання геоінформаційних технологій, дистанційного зондування Землі та краудсорсингових платформ. Тема дослідження є комплексною та має суттєве значення для формування екологічної політики у поствоєнний період.

Об'єктом дослідження є атмосферне повітря в межах міста Харків, що зазнало масштабного техногенного впливу внаслідок воєнних дій.

Предметом дослідження виступають просторово-часові зміни якості атмосферного повітря у зазначеному регіоні, а також методи його моніторингу та оцінювання рівнів забруднення.

Метою роботи є аналіз змін стану атмосферного повітря в місті Харків у період активних воєнних дій та визначення екологічних наслідків на основі даних моніторингу повітряного середовища.

Для досягнення поставленої мети в роботі були визначені такі основні завдання:

1. Охарактеризувати систему моніторингу якості атмосферного повітря та її нормативно-правове забезпечення в Україні.
2. Визначити основні джерела забруднення повітряного середовища в Харкові, зокрема спричинені воєнними діями.
3. Проаналізувати статистичні, інструментальні дані щодо складу атмосферного повітря у період 2021-2024 років
4. Проаналізувати можливі перспективи дослідження стану атмосферного повітря в м. Харків в умовах воєнних дій

Для реалізації мети та завдань дослідження використано комплекс методів, серед яких: аналіз літературних джерел та нормативно-правових документів; статистичний аналіз; порівняльно-географічний метод.

Результати дослідження можуть стати основою для розробки практичних рекомендацій щодо покращення системи екологічного моніторингу, оптимізації заходів з охорони атмосферного повітря та забезпечення екологічної безпеки міського середовища в умовах воєнного та післявоєнного періоду.

Структура й обсяг роботи. Дипломна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 74 сторінках; включає 2 рисунки, 8 таблиць. Список використаних джерел включає 59 найменувань, 20 з яких є англомовними.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМУ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

1.1. Законодавча база моніторингу якості атмосферного повітря

Система моніторингу атмосферного повітря є ключовим інструментом сучасного екологічного управління, спрямована на постійне вимірювання, аналіз і контроль параметрів якості повітря в певній географічній області. Основною метою таких систем є збір даних про рівні забруднення атмосфери різними хімічними речовинами, частинками та іншими фізичними параметрами, що можуть негативно впливати на здоров'я людей, екосистеми та загальний стан навколишнього середовища.

Технічна складова системи включає автоматизовані монітори, розташовані в ключових точках міст чи регіонів, які надають інформацію в реальному часі або періодично збирають дані для подальшого аналізу. Ці монітори вимірюють різні параметри забруднення, такі як оксиди азоту, оксиди сірки, тверді частки та інші хімічні сполуки, а також метеорологічні умови, які впливають на поширення забруднюючих речовин у повітрі. Зібрані дані піддаються комплексному аналізу і використовуються для оцінки впливу забруднювачів на навколишнє середовище і здоров'я людей. Результати моніторингу регулярно узагальнюються у відповідні звіти, які є основою для прийняття екологічних заходів та розробки стратегій зменшення забруднення атмосфери [22].

Системи моніторингу атмосферного повітря відіграють важливу роль у забезпеченні сталого розвитку та охорони навколишнього середовища, сприяючи зменшенню впливу промислових викидів і транспортного руху на якість повітря, що має велике значення для здоров'я суспільства та збереження природних ресурсів [14].

Законодавча база моніторингу якості атмосферного повітря складається з ряду нормативно-правових актів, які регулюють проведення моніторингу,

вимоги до якості повітря і обов'язки відповідних органів. Основні аспекти законодавства з цієї галузі включають:

1. **Міжнародні норми:** Україна, як і інші країни, може брати участь у міжнародних договорах і угодах щодо охорони навколишнього середовища, що стосуються моніторингу якості повітря. Такі документи можуть включати рекомендації Європейського Союзу, ООН та інших міжнародних організацій [40].

2. **Нормативно-правові акти на національному рівні:** в Україні це можуть бути закони, постанови Кабінету Міністрів, розпорядження міністерств і відомств, що регулюють усі аспекти моніторингу якості атмосферного повітря, включаючи вимоги до моніторів, частоту збору даних, стандарти якості повітря та вимоги до звітності [14].

3. **Локальні нормативно-правові акти:** Деякі місцеві органи могли прийняти власні нормативні акти щодо моніторингу якості повітря, які деталізують специфічні вимоги і стандарти для конкретних регіонів чи міст [13].

4. **Контроль і нагляд:** Законодавство також визначає органи влади і контрольні структури, відповідальні за здійснення моніторингу якості атмосферного повітря, а також постійний контроль за дотриманням установлених стандартів [17].

5. **Механізми впровадження:** Законодавство може також включати положення щодо фінансування програм моніторингу, науково-дослідних робіт у цій галузі, а також заохочення добровільних ініціатив щодо зменшення забруднення атмосфери [11].

Отже, система моніторингу атмосферного повітря в Україні регулюється комплексом нормативно-правових актів, які визначають принципи, методи, повноваження органів влади та вимоги до ведення спостережень за якістю повітря. Законодавча база формується на національному рівні з урахуванням міжнародних зобов'язань України у сфері охорони довкілля.

Конституція України, прийнята 28 червня 1996 року [5], є основним законом держави і визначає правові засади функціонування всіх сфер суспільного життя, у тому числі екологічної безпеки та охорони довкілля. У контексті моніторингу якості атмосферного повітря особливе значення мають положення, що гарантують громадянам право на безпечне навколишнє середовище, а також обов'язки держави щодо забезпечення цього права. Стаття 50 Конституції України визначає: «Кожен має право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та на відшкодування завданої порушенням цього права шкоди. Кожному гарантується право вільного доступу до інформації про стан довкілля, про якість харчових продуктів і предметів побуту, а також право на її поширення. Така інформація ніким не може бути засекречена» [6].

Ця норма є фундаментальною для формування екологічного законодавства, зокрема в частині організації моніторингу якості атмосферного повітря. Вона визначає, що:

- Держава зобов'язана здійснювати контроль за станом довкілля, включаючи повітряне середовище.
- Громадяни мають право на екологічну інформацію, що включає й дані про якість атмосферного повітря, рівень його забруднення, наявність шкідливих речовин тощо.
- Влада не має права обмежувати доступ до екологічних даних, що є основою відкритості системи державного моніторингу.

Таким чином, положення Конституції України створюють нормативну базу, яка зобов'язує державу забезпечити:

- належний рівень охорони атмосферного повітря;
- створення і функціонування системи екологічного моніторингу;
- прозорість і відкритість інформації про стан довкілля.

На практиці це означає, що будь-які обмеження у доступі до інформації про забруднення атмосферного повітря, у тому числі під час війни, повинні бути мінімізовані, оскільки йдеться про життєво важливе право громадян на безпечне

середовище. У цьому контексті органи державної влади, зокрема Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Державна екологічна інспекція, ДСНС, МОЗ, зобов'язані забезпечувати [9]:

- регулярне оприлюднення результатів моніторингу;
- оновлення публічних реєстрів;
- інформування населення про критичні показники стану повітря.

У зв'язку з цим, Конституція України не лише формулює екологічне право, а й закладає обов'язок створення ефективної системи моніторингу, яка, зокрема, охоплює і аналіз якості атмосферного повітря в мирний та надзвичайний (воєнний) час.

Одним із ключових нормативно-правових актів, що регулюють систему моніторингу якості повітря в Україні, є Закон України «Про охорону атмосферного повітря», прийнятий у 2001 році [14]. Цей закон є базовим документом, який визначає правові, організаційні та економічні засади охорони атмосферного повітря з метою забезпечення екологічної безпеки, запобігання забрудненню та зниженню впливу шкідливих факторів на здоров'я людини і стан довкілля.

Закон встановлює, що атмосферне повітря є важливою складовою природного середовища, а його охорона – обов'язок держави, органів місцевого самоврядування, підприємств, установ, організацій та громадян. У статті 1 закону подано основні терміни, зокрема «моніторинг атмосферного повітря», що визначається як система регулярного спостереження, оцінювання, аналізу та прогнозування змін стану атмосферного повітря. Це поняття формує підґрунтя для організації комплексного спостереження за складом та якістю повітряного басейну [14].

Важливим елементом правового регулювання є визначення повноважень органів виконавчої влади. Згідно зі статтею 5, до компетенції центрального органу виконавчої влади в сфері охорони довкілля (сьогодні – Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України) належить організація і

координація заходів із проведення державного моніторингу повітря [14]. Також передбачено взаємодію з іншими органами – Міністерством охорони здоров'я, Державною екологічною інспекцією, Державною службою з надзвичайних ситуацій тощо.

Центральною для тематики моніторингу є стаття 16, яка регламентує принципи організації спостереження за станом атмосферного повітря. Закон визначає, що моніторинг здійснюється з метою забезпечення збирання та обробки даних про рівень забруднення, формування екологічної політики, інформування населення та підготовки науково обґрунтованих рішень [14]. Передбачено створення мережі постів спостереження (включно з автоматизованими станціями), використання єдиних методик вимірювання та формування інтегрованої бази даних. У разі погіршення екологічної ситуації органи влади зобов'язані оперативно інформувати громадськість про небезпеку.

Окремо у законі регламентуються нормативи гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин. У статті 19 йдеться про необхідність науково обґрунтованого встановлення нормативів для основних забруднювачів (наприклад, PM_{2.5}, NO₂, CO, SO₂), які мають бути затверджені державними органами охорони здоров'я та довкілля [14]. Ці нормативи є основою для оцінки якості повітря, визначення екологічного ризику та розробки планів реагування на критичні рівні забруднення.

Стаття 22 встановлює обов'язки підприємств, установ і організацій, діяльність яких супроводжується викидами в атмосферне повітря [14]. Суб'єкти господарювання повинні здійснювати власний моніторинг, надавати звітність до органів державної влади, застосовувати сучасні методи очищення викидів та, за необхідності, брати участь у локальному екологічному контролі.

Особливе значення має стаття 25, яка гарантує відкритість екологічної інформації. Закон зобов'язує органи влади та суб'єктів моніторингу забезпечувати вільний доступ до даних про стан атмосферного повітря. Таким чином, реалізується одне з основоположних прав громадян – право на

інформацію про якість довкілля, як це передбачено Конституцією України (ст. 50) [6] та міжнародними угодами, зокрема Орхуською конвенцією [29].

Крім того, закон містить положення щодо відповідальності за порушення норм охорони повітряного середовища (стаття 35), процедур екологічного контролю (стаття 33), прогнозування екологічної ситуації (стаття 18) та заходів попередження забруднення (стаття 24) [14].

Таким чином, Закон України «Про охорону атмосферного повітря» виступає головним нормативним документом, який формує інституційну основу для організації моніторингу, обґрунтовує необхідність фіксації змін у складі повітря, визначає вимоги до системи спостережень і встановлює відповідальність усіх учасників за дотримання екологічних норм. У контексті збройного конфлікту, актуальність положень закону значно зростає, оскільки вони забезпечують законодавчу підтримку екологічної безпеки та дозволяють реагувати на екстремальні ситуації, спричинені бойовими діями та техногенними аваріями.

В межах сучасного екологічного законодавства України особливе значення для реалізації практичних механізмів спостереження за станом атмосферного повітря має Постанова Кабінету Міністрів України № 827 від 14 серпня 2019 року, якою затверджено «Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» [14]. Цей документ деталізує положення Закону України «Про охорону атмосферного повітря» (2001) та визначає процедури, інструменти й умови реалізації державної політики у сфері моніторингу якості повітряного середовища.

Постанова формалізує систему моніторингу як частину єдиного державного екологічного моніторингу довкілля. У документі вказано, що мета моніторингу полягає у виявленні фактичного рівня забруднення атмосферного повітря, оцінці відповідності його складу гранично допустимим концентраціям, виявленні перевищень нормативів та формуванні бази для прийняття

управлінських рішень у сфері охорони довкілля, просторового планування та захисту здоров'я населення [9].

Порядок встановлює чітку структуру системи моніторингу, яка включає [9]:

- референтний моніторинг (високоточні вимірювання, які є еталонними та використовуються для калібрування інших приладів);
- індикативний моніторинг (оперативні або орієнтовні спостереження для виявлення загальних тенденцій і рівнів забруднення);
- фоновий моніторинг (спостереження у віддалених від джерел викидів районах для визначення природного рівня забруднення);
- моніторинг пунктів високого навантаження (території з інтенсивним рухом транспорту, промисловими зонами тощо);
- оперативно-екстрений моніторинг (застосовується під час надзвичайних ситуацій, включаючи аварії, пожежі, бойові дії тощо).

Згідно з постановою, основними суб'єктами здійснення моніторингу є [14]:

- Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України;
- територіальні органи виконавчої влади;
- Державна екологічна інспекція;
- спеціалізовані установи, наукові установи, лабораторії та підприємства, що мають відповідні повноваження й технічне забезпечення.

Особливу увагу приділено технічним стандартам: спостереження за показниками якості повітря мають здійснюватися за допомогою сертифікованого обладнання з відповідними методиками, узгодженими з європейськими стандартами ЄС. Встановлюються вимоги до періодичності вимірювань, процедури калібрування приладів, методики відбору проб та аналізу результатів [39].

Постанова також визначає порядок обробки, зберігання та передачі даних. Всі результати вимірювань мають бути оперативно внесені до Єдиної державної системи моніторингу довкілля, а також відображені у відкритому доступі через

офіційні інтернет-ресурси. Це положення забезпечує прозорість та інформованість громадян, що є важливою складовою виконання зобов'язань України за Орхуською конвенцією.

Окремим блоком Порядок передбачає обов'язкову інтеграцію моніторингу з процесами оцінки впливу на довкілля (ОВД), державної екологічної експертизи, територіального планування та формування кліматичної політики. Зокрема, дані моніторингу повинні враховуватися під час реалізації проєктів будівництва, модернізації виробництва, розміщення інфраструктури [29].

У воєнних умовах положення цієї постанови набувають особливої ваги. Саме оперативний моніторинг із мобільними станціями, дистанційними сенсорами та супутниковими платформами є ключовим джерелом даних про екстремальні концентрації шкідливих речовин, спричинених вибухами, пожежами, викидами небезпечних речовин та руйнуванням інфраструктури. Положення про надзвичайний моніторинг можуть бути задіяні для оперативної оцінки забруднення внаслідок бойових дій, як це відбувається у місті Харків.

У цілому, постанова КМУ № 827 (2019) є надзвичайно важливим нормативним документом, який не лише деталізує загальні положення законів, але й забезпечує практичну реалізацію державної політики у сфері контролю якості атмосферного повітря. Вона створює умови для впровадження сучасної, прозорої та інтегрованої системи моніторингу, здатної функціонувати як у звичайних, так і в кризових умовах [10].

Важливою складовою системи екологічного управління та моніторингу повітряного середовища в Україні є державний кадастр атмосферного повітря. Правовою основою для його функціонування виступає Постанова Кабінету Міністрів України № 271 від 15 березня 2002 року [13], якою затверджено «Порядок ведення державного кадастру атмосферного повітря». Цей нормативний акт має стратегічне значення, оскільки забезпечує систематизацію, облік, зберігання та використання інформації про викиди забруднюючих речовин в атмосферу та стан повітряного середовища на всій території країни.

Відповідно до Порядку [13], державний кадастр атмосферного повітря являє собою спеціалізовану інформаційну систему, що акумулює відомості про:

- джерела викидів (стаціонарні та пересувні);
- обсяги та склад викидів забруднюючих речовин;
- гранично допустимі нормативи викидів (ГДВ);
- використання атмосферного повітря як природного ресурсу;
- результати моніторингу якості повітря та перевірок дотримання екологічного законодавства;
- показники техногенного навантаження на атмосферу в регіонах.

Основна мета створення кадастру полягає в централізованому обліку забруднення, необхідному для розробки національних і регіональних програм охорони повітря, розрахунку екологічного податку, планування природоохоронних заходів, а також виконання міжнародних зобов'язань України у сфері охорони довкілля.

Порядок визначає, що організацію та координацію ведення кадастру здійснює Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, а безпосередню підготовку та наповнення бази даних забезпечують його структурні підрозділи, обласні та міські держадміністрації, територіальні підрозділи Державної екологічної інспекції та Державної служби статистики [25].

Документ встановлює, що підприємства, установи та організації, які здійснюють викиди в атмосферу, зобов'язані надавати відповідну звітність згідно з встановленими формами. Ця інформація підлягає обов'язковій перевірці на точність та своєчасність і є підставою для обчислення екологічних платежів.

Особливу увагу приділено єдиній уніфікованій системі класифікації забруднюючих речовин (згідно з галузевими стандартами та технічними регламентами), що дозволяє забезпечити порівнянність та агрегування даних на національному рівні. Крім того, визначено принципи використання геоінформаційних технологій та інтеграції кадастрової інформації з іншими

державними реєстрами та інформаційними системами – зокрема, з кадастрами водних, земельних ресурсів, містобудівними кадастрами [26].

Важливо, що Порядок передбачає публічний доступ до частини кадастрової інформації, включаючи загальні статистичні дані про обсяги викидів, основні джерела забруднення, рейтинг підприємств-забруднювачів у розрізі територій. Це забезпечує реалізацію принципу екологічної прозорості та відповідає міжнародним зобов'язанням України, зокрема Орхуській конвенції.

У контексті збройного конфлікту, кадастр атмосферного повітря є цінним джерелом для фіксації змін, які відбуваються в результаті руйнування інфраструктури, пожеж, вибухів та інших воєнних дій. Ведення кадастру дозволяє аналізувати масштаб і характер впливу бойових дій на довкілля, а також є важливою основою для післявоєнного екологічного відновлення.

Таким чином, Постанова КМУ № 271 (2002) забезпечує правову основу для системного та достовірного обліку викидів у повітряне середовище, є важливим елементом екологічного управління та інформаційного забезпечення моніторингової діяльності. У поєднанні з іншими нормативно-правовими актами вона формує ефективний інструментарій для контролю за станом атмосферного повітря та прийняття обґрунтованих екологічних рішень.

Одним із ключових технічних документів, що забезпечує єдність підходів до оцінювання якості атмосферного повітря в Україні, є Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України № 309 від 10 грудня 2020 року «Про затвердження Методики визначення рівнів забруднення атмосферного повітря» [27]. Цей нормативно-методичний документ деталізує порядок проведення розрахунків, аналізу та класифікації рівнів забруднення повітря, а також встановлює єдині стандарти для фахівців у галузі моніторингу, екологічного контролю та планування природоохоронних заходів.

Методика розроблена відповідно до чинного законодавства України та враховує європейські підходи, зокрема Директиву 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи [39]. Вона призначена для

використання державними органами, установами, підприємствами та лабораторіями, що здійснюють спостереження та оцінку стану повітряного середовища в межах населених пунктів і промислових зон.

Методика передбачає, що оцінювання якості повітря здійснюється за даними вимірювання концентрацій основних забруднюючих речовин, таких як:

- пил фракції PM10 і PM2.5;
- діоксид азоту (NO₂);
- оксид вуглецю (CO);
- діоксид сірки (SO₂);
- озон (O₃);
- формальдегід, бензол, аміак, важкі метали та інші забруднювачі

залежно від специфіки території.

У документі зазначено допустимі середньодобові та середньорічні значення концентрацій, порівняно з якими визначається ступінь забруднення. Вимірювання мають проводитися з дотриманням метрологічних стандартів, з використанням приладів, атестованих відповідно до національних та міжнародних вимог.

Ключовим інструментом, передбаченим Методикою, є розрахунок індексу забруднення атмосфери (ІЗА). Він дозволяє здійснити інтегральну оцінку екологічного стану повітряного басейну на основі кількох показників. Визначається також рівень забруднення (низький, підвищений, високий, дуже високий), що має практичне значення для попередження екологічних і медико-біологічних наслідків.

Крім цього, Методика регламентує правила візуалізації результатів моніторингу, що передбачає побудову тематичних карт, діаграм, профілів забруднення та багаторічних графіків. Ці дані використовуються для обґрунтування місць розміщення станцій спостереження, оцінки впливу об'єктів на довкілля, інформування населення та підготовки екологічних звітів.

Особливо важливим є положення про класифікацію територій за рівнем забруднення, що може бути використано для розробки планів оздоровлення атмосферного повітря, регіонального планування, екологічної паспортизації населених пунктів. Методика також дозволяє враховувати метеорологічні умови (температуру, вологість, напрям і швидкість вітру), які впливають на розсіювання шкідливих домішок у повітрі.

У сучасних умовах – зокрема, під час воєнних дій – застосування даної Методики дозволяє оперативно виявляти перевищення допустимих концентрацій, аналізувати вплив вибухів, пожеж, техногенних аварій на повітряне середовище та прогнозувати екологічні ризики для населення. З урахуванням динамічної ситуації в містах, таких як Харків, документ може застосовуватися для локального аналізу забруднення в умовах надзвичайної ситуації.

Таким чином, Методика визначення рівнів забруднення атмосферного повітря є важливим інструментом стандартизації та підвищення достовірності екологічного моніторингу. Вона забезпечує об'єктивність оцінювання, єдність вимог до обробки екологічної інформації та сприяє ухваленню обґрунтованих управлінських рішень у сфері охорони повітряного середовища.

В таблиці 1.1 наведено узагальнену та систематизовану інформацію національної законодавчої бази, що регулює моніторинг якості атмосферного повітря в Україні.

Законодавча база моніторингу якості атмосферного повітря в Україні охоплює як національні, так і міжнародні нормативно-правові акти, які разом формують цілісну систему правового регулювання у цій сфері. Вона включає конституційні гарантії права на безпечне довкілля, спеціалізовані закони про охорону атмосферного повітря та моніторинг, а також підзаконні акти, що визначають порядок ведення обліку, обробки та поширення екологічної інформації.

Таблиця 1.1.
(укладено автором за матеріалами [5,6,7,9,10,11,12,13,14,23,29])

Законодавча база моніторингу якості атмосферного повітря в Україні

№	Назва нормативно-правового акту	Рік	Основні положення	Значення для моніторингу
1	Конституція України	1996	Ст. 50 гарантує право громадян на безпечне довкілля та доступ до екологічної інформації.	Закладає основу для права на інформацію про якість повітря.
2	Закон України "Про охорону атмосферного повітря"	2001	Визначає систему моніторингу, джерела забруднення, обов'язки підприємств, поняття ГДК та обов'язок інформування населення.	Базовий закон для регулювання стану повітряного середовища.
3	Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища"	1991	Передбачає систему державного моніторингу довкілля, в тому числі атмосферного повітря.	Узагальнює екологічну політику держави, охоплює повітря як об'єкт захисту.
4	Закон України "Про державну систему моніторингу довкілля"	2003	Визначає суб'єктів, структуру та порядок взаємодії в системі моніторингу.	Формує основу для міжвідомчої координації моніторингу повітря.
5	Постанова КМУ № 827	2019	Регламентує типи моніторингу (референтний, індикативний), вимоги до пунктів спостереження, процедури збору та обробки даних.	Практичне керівництво для здійснення моніторингу повітря в Україні.
6	Постанова КМУ № 271	2002	Визначає правила обліку викидів, структуру інформаційної системи, відповідальність за звітність.	Централізований облік забруднення та основа для прийняття рішень.
7	Наказ Міндовкілля № 309	2020	Описує методи розрахунку індексів забруднення, категоризацію рівнів забруднення, вимоги до вимірювань.	Стандартизує технічний підхід до оцінки стану повітря.
8	Орхуська конвенція	1998	Гарантує доступ громадян до екологічної інформації та участь у прийнятті екологічно значущих рішень.	Міжнародно-правова основа відкритості даних про стан повітря.
9	Угода про асоціацію між Україною та ЄС	2014	Зобов'язує Україну гармонізувати стандарти моніторингу повітря з нормами ЄС.	Орієнтир для адаптації моніторингу до європейських вимог.

Особливу роль відіграють постанови Кабінету Міністрів та накази Міністерства захисту довкілля, які деталізують методологію оцінювання стану повітряного середовища. Гармонізація українського законодавства з європейськими екологічними стандартами є важливим етапом інтеграції у європейський правовий простір. Умови збройного конфлікту вимагають адаптації наявної правової бази до реалій надзвичайних ситуацій, активізації оперативного моніторингу та забезпечення відкритості екологічних даних, що є ключовими факторами у забезпеченні екологічної безпеки населення.

1.2. Міжнародний досвід моніторингу якості атмосферного повітря

Моніторинг атмосферного повітря є важливою складовою екологічної політики в усіх розвинених країнах світу. Він не лише забезпечує наукове обґрунтування управлінських рішень у сфері охорони довкілля, а й сприяє захисту здоров'я населення, розробці стратегій адаптації до змін клімату та інформуванню громадськості. У більшості країн система моніторингу базується на автоматизованих мережах постійного спостереження, стандартизованих методиках вимірювання та інтеграції даних у відкриті цифрові платформи.

Європейський Союз (ЄС) є визнаним світовим лідером у сфері охорони атмосферного повітря завдяки впровадженню високих правових, технологічних та організаційних стандартів моніторингу. У країнах-членах ЄС сформовано комплексну систему, яка поєднує жорстке нормативно-правове регулювання, широку мережу автоматизованих пунктів спостереження, використання супутникових технологій та активне залучення громадськості [39].

Правовою основою європейської політики у сфері повітря є Директива 2008/50/ЄС «Про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи» [53], яка визначає граничні значення концентрацій ключових забруднюючих речовин, включаючи дрібнодисперсний пил (PM₁₀, PM_{2.5}), діоксид азоту (NO₂), озон (O₃), оксид вуглецю (CO), діоксид сірки (SO₂), свинець, бензол та інші. Цей

документ також регламентує частоту, точність та способи проведення вимірювань, встановлює мінімальну кількість пунктів контролю відповідно до площі населених пунктів та щільності населення, а також визначає правила для вибору типу моніторингу залежно від досягнення порогів оцінювання (нижнього або верхнього).

Організаційна структура моніторингу повітря в ЄС багаторівнева. На національному рівні за реалізацію заходів відповідають міністерства охорони довкілля країн-членів. Регіональні та місцеві органи влади, включаючи муніципальні екологічні агентства, забезпечують роботу стаціонарних станцій, збір даних і реагування на перевищення. На європейському рівні координацію забезпечує Європейське агентство з довкілля (European Environment Agency, EEA) [55], яке веде централізовану базу даних Air Quality e-Reporting (раніше – AirBase), до якої обов'язково передаються стандартизовані звіти з усіх країн-членів [54].

Оцінювання стану атмосферного повітря у ЄС здійснюється за допомогою Європейського індексу якості повітря (European Air Quality Index, EAQI) [53]. Цей індекс інтегрує дані про концентрації п'яти основних забруднюючих речовин і відображає їх у кольоровій шкалі – від зеленого (добра якість) до темно-червоного (вкрай шкідлива якість повітря). Дані доступні в режимі реального часу через офіційний сайт ЕЕА (рис.1.1.) [53], мобільні застосунки та локальні вебсайти національних агентств. Це дозволяє населенню швидко орієнтуватися у стані повітря, приймати рішення про обмеження перебування на відкритому повітрі або інші заходи безпеки.

Європейський Союз активно використовує модельні прогнози та супутникові спостереження. Зокрема, у рамках програми Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) здійснюється прогнозування забруднення повітря на кілька днів наперед з урахуванням метеорологічних факторів, топографії та сезонних змін. Доповненням до наземних вимірювань є супутникові платформи Sentinel-5P, що надають оперативну інформацію про розподіл забруднювачів на

великих територіях, виявлення трансграничного перенесення домішок, епізодів смогів, викидів від пожеж або промислових аварій [59].

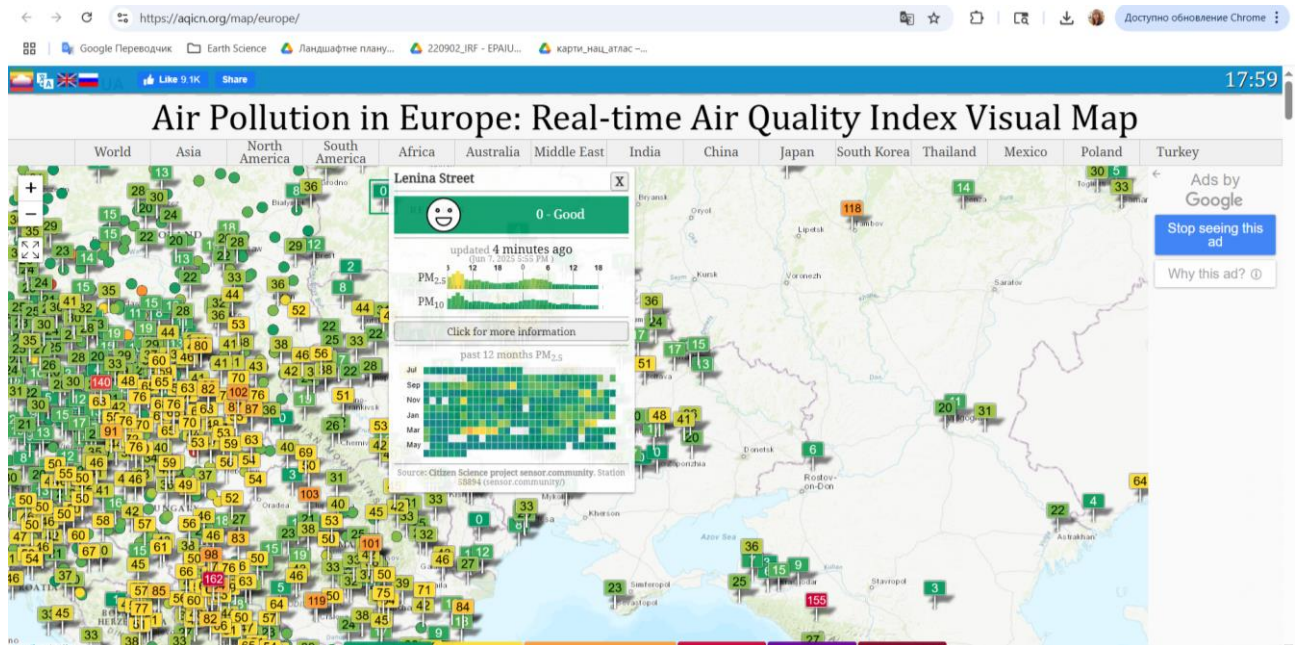


Рис.1.1. Офіційний сайт ЕЕА

Не менш важливим компонентом є участь громадськості та екологічна відкритість. Відповідно до зобов'язань, закріплених у Директиві та Орхуській конвенції, держави-члени ЄС зобов'язані надавати громадянам вільний доступ до екологічної інформації, своєчасно повідомляти про випадки перевищення нормативів забруднення, а також створювати інструменти для зворотного зв'язку [29]. У багатьох країнах ЄС реалізуються проєкти з краудсорсингу, встановлення мобільних сенсорів у школах, на транспорті, в громадських просторах, що підвищує точність даних та рівень екологічної свідомості населення.

Значний досвід ЄС у моніторингу атмосферного повітря має високу практичну цінність для України. В межах виконання Угоди про асоціацію Україна зобов'язана адаптувати національне законодавство до вимог директив ЄС, у тому числі у сфері повітря. Україна вже приєднана до платформи ЕЕА з передачі екологічної звітності, впроваджує європейські методики аналізу якості повітря та розвиває мережу автоматизованих пунктів моніторингу.

Для України особливо важливими є практики ЄС щодо інтеграції наземних і дистанційних методів моніторингу, широкого доступу громадськості до даних, екстреного попередження про загрози, а також включення оцінки якості повітря до процесів просторового планування та управління ризиками. У період війни та післявоєнного відновлення ці інструменти дозволять оперативно реагувати на критичні епізоди забруднення, фіксувати екологічні збитки та приймати обґрунтовані рішення щодо оздоровлення повітряного середовища.

Сполучені Штати Америки мають одну з найбільш розвинених, багаторівневих і технологічно досконалих систем моніторингу якості атмосферного повітря у світі. Основою екологічної політики США у цій сфері є Закон про чисте повітря (Clean Air Act) [43], прийнятий у 1970 році та неодноразово оновлений. Цей закон встановлює нормативи якості повітря, регламентує порядок контролю за викидами та передбачає створення національної мережі моніторингу.

Виконання положень закону забезпечує Агентство з охорони навколишнього середовища США (U.S. Environmental Protection Agency – EPA), яке координує всі федеральні програми з моніторингу атмосферного повітря. Ключовою частиною цієї діяльності є Національна програма моніторингу атмосферного повітря (National Ambient Air Monitoring Program), що включає мережі SLAMS (State and Local Air Monitoring Stations) і NAMS (National Air Monitoring Stations). Разом вони охоплюють понад чотири тисячі пунктів контролю по всій території країни [41].

Моніторинг здійснюється з фокусом на шкідливі речовини, які входять до складу шести основних критерійних забруднювачів (criteria pollutants), визначених EPA: тверді частки (PM₁₀ і PM_{2.5}), озон (O₃), діоксид азоту (NO₂), діоксид сірки (SO₂), чадний газ (CO) та свинець (Pb). Для кожної з цих речовин встановлено національні стандарти якості повітря (National Ambient Air Quality Standards – NAAQS), що поділяються на первинні (для захисту здоров'я людини) та вторинні (для охорони довкілля, матеріалів і тваринного світу) [54].

Особливою характеристикою американської системи моніторингу є її відкритість і доступність. У США активно використовується індекс якості повітря (Air Quality Index – AQI), який щодня обчислюється для більшості великих міст та оновлюється щогодини. Інформація про стан повітря надається громадянам через національну онлайн-платформу AirNow.gov, мобільні застосунки, засоби масової інформації, електронні табло в публічних місцях та навіть через попереджувальні SMS-повідомлення. У випадках, коли рівень забруднення сягає небезпечних позначок, активізується система екстреного інформування [54].

Важливо, що США активно впроваджують інновації у сфері мобільного та супутникового моніторингу. EPA співпрацює з NASA у використанні даних із супутників Terra, Aqua, Aura та Sentinel-5P, які забезпечують оцінку розподілу шкідливих домішок, фіксацію лісових пожеж, пилових бур, промислових викидів тощо. Крім того, в межах програми HAQAST (Health and Air Quality Applied Sciences Team) розробляються інструменти, які інтегрують супутникові спостереження із наземними даними для точного просторового прогнозування.

Досвід США також включає активну участь громадськості. На федеральному та місцевому рівнях реалізуються програми встановлення персональних та громадських датчиків якості повітря (low-cost sensors), які можуть встановлюватися в житлових районах, школах, на підприємствах та в парках. Дані з цих сенсорів дозволяють доповнювати офіційну мережу моніторингу та використовуються для екологічної освіти й оцінювання локальних ризиків.

Ще одним важливим компонентом є правозастосування. Якщо виявляється систематичне перевищення нормативів якості повітря в окремому регіоні, федеральний уряд має право втручатися у діяльність місцевих регуляторів і вимагати розробки та впровадження планів покращення якості повітря (State Implementation Plans – SIPs). Ці плани мають юридичну силу й підлягають погодженню з EPA [54].

Досвід США також включає розробку стратегічних програм адаптації до змін клімату, що тісно пов'язані з моніторингом атмосферного повітря. Так, у багатьох штатах запроваджено індикатори вразливості до забруднення повітря для осіб з хронічними захворюваннями, дітей, літніх людей, що дозволяє цілеспрямовано захищати найбільш чутливі верстви населення.

Загалом система моніторингу атмосферного повітря в США вирізняється високим рівнем децентралізації, технологічної досконалості, відкритості даних і швидкого реагування. Вона демонструє ефективне поєднання наукових підходів, громадської участі та жорсткого нормативного регулювання [40].

Для України, особливо в умовах воєнних дій, досвід Сполучених Штатів може бути надзвичайно корисним у таких аспектах, як впровадження автоматизованих мереж моніторингу, використання супутникових даних, створення системи оперативного попередження про забруднення повітря, а також налагодження прозорості цифрової комунікації з населенням. Також важливо перейняти практику правового механізму зобов'язання місцевих органів розробляти плани покращення якості повітря у випадках перевищення граничних нормативів.

Канада є прикладом розвиненої держави, яка поєднує високі стандарти екологічної політики з гнучкістю регіонального управління, інноваційними технологіями та широкою участю громадськості у сфері моніторингу атмосферного повітря. У країні функціонує ефективна система спостереження за якістю повітря, яка охоплює національний, провінційний та муніципальний рівні. Враховуючи значну територію країни, різноманітність кліматичних умов і розосередженість населених пунктів, Канада формує свою політику на основі адаптивності, інтегрованості та відкритості екологічної інформації.

Координацію системи моніторингу здійснює Environment and Climate Change Canada (ЕССС) – федеральне міністерство, яке відповідає за довкілля, кліматичну політику, метеорологію та повітряний моніторинг [40]. Основною платформою для збору та аналізу даних є Національна програма спостереження

за забрудненням повітря (National Air Pollution Surveillance – NAPS), яка діє з 1969 року. Ця програма є найстарішою постійно діючою системою моніторингу якості повітря в Північній Америці [53].

На сьогодні мережа NAPS охоплює понад 260 станцій спостереження, розташованих у 150 містах по всій Канаді. Пункти контролю вимірюють концентрації основних забруднювачів – зокрема, твердих часток (PM_{2.5}, PM₁₀), озону (O₃), діоксиду азоту (NO₂), діоксиду сірки (SO₂), оксиду вуглецю (CO), а також летких органічних сполук (ЛОС), поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) і важких металів. Особливу увагу приділено аналізу довготривалих тенденцій забруднення, оцінці впливу на здоров'я людини та прогнозуванню змін повітряного середовища в умовах зміни клімату.

Важливою інновацією в канадській практиці є застосування Індексу здоров'я за якістю повітря (Air Quality Health Index – AQHI). Це спеціалізований показник, який не лише відображає концентрації забруднюючих речовин, а й інтегрує їхній вплив на здоров'я людини з урахуванням медичних даних. Індекс розраховується щогодини, має шкалу від 1 до 10+ і подається у вигляді практичних рекомендацій: наприклад, щодо рівня фізичної активності на відкритому повітрі для чутливих груп населення – дітей, літніх людей, осіб із захворюваннями серця та дихальної системи [58].

Канада також має розгалужену цифрову інфраструктуру для інформування населення. Дані моніторингу доступні через офіційні вебресурси уряду (наприклад, airquality.gc.ca) [57], мобільні додатки та партнерські медіа. В умовах підвищеного забруднення (особливо під час сезонних лісових пожеж, які є поширеним явищем у Західній Канаді), уряд оперативно публікує попередження, рекомендації щодо обмеження перебування на відкритому повітрі та інструкції для громадян.

Окрему увагу в Канаді приділяють краудсорсинговим ініціативам та впровадженню мобільних сенсорів. У рамках програм громадської науки місцеві громади, школи, неурядові організації мають змогу встановлювати портативні

датчики забруднення повітря, зокрема в районах, де немає постійних станцій. Ці дані інтегруються до національної системи і використовуються для підвищення точності локального моніторингу. Таким чином формується не лише технічна, а й соціальна основа для екомоніторингу.

Важливо, що моніторинг повітря в Канаді тісно інтегрований із іншими системами – зокрема метеорологічною службою, службами охорони здоров'я, цивільного захисту та планування надзвичайних ситуацій. Під час кризових подій, таких як лісові пожежі або промислові викиди, на основі даних повітряного моніторингу формуються сценарії реагування, евакуації або розгортання мобільних станцій.

Канадська модель також відзначається гнучким підходом до міжвідомчої взаємодії. Провінції та території мають право адаптувати федеральні стандарти під свої особливості, розширювати мережу спостереження та доповнювати її власними програмами. Наприклад, у провінціях Онтаріо та Британська Колумбія діють додаткові регіональні платформи оцінки якості повітря, які поєднують екологічний контроль із муніципальним плануванням та управлінням транспортом.

Китайська Народна Республіка (КНР) протягом останніх десятиліть пройшла значну трансформацію у підходах до моніторингу якості атмосферного повітря. У зв'язку з активною індустріалізацією, стрімким зростанням міст та збільшенням автотранспорту, в країні спостерігалось погіршення якості повітря, що вивело проблему на рівень національної безпеки. Особливо гостро вона постала у 2013 році, коли Пекін та інші великі міста накрыли масштабні смогові хмари, і вперше у світі концентрація дрібнодисперсного пилу (PM_{2.5}) перевищила 900 мкг/м³. Ці події змусили уряд Китаю переглянути екологічну політику та розгорнути повноцінну систему моніторингу повітря, яка сьогодні є однією з найбільших і найдинамічніших у світі [47].

Координацію моніторингу якості повітря здійснює Міністерство екології та довкілля КНР (Ministry of Ecology and Environment – MEE) . Згідно з

Національним планом боротьби із забрудненням повітря, прийнятим у 2013 році, було впроваджено єдину національну систему моніторингу, яка на сьогодні охоплює понад 1 500 автоматизованих станцій у більш ніж 330 містах Китаю. Ці станції фіксують основні показники забруднення: PM2.5, PM10, NO₂, SO₂, CO та O₃ [46].

Китай використовує власний індекс якості повітря (Air Quality Index – AQI), аналогічний до індексів США та ЄС, але адаптований до місцевих умов. Індекс розраховується щогодини, з урахуванням максимального значення одного з забруднювачів, і подається у публічному доступі через офіційні платформи (наприклад, <https://air.cnemc.cn>), мобільні додатки, соціальні мережі та світлові табло в міському просторі. Такий рівень прозорості є порівняно новим для китайської системи управління, однак він став критично важливим для інформування населення та формування політики реагування.

Значною особливістю китайського підходу є висока централізація даних та жорсткий контроль за їх достовірністю. Усі станції функціонують у межах єдиної технологічної платформи, а їх обслуговування та калібрування контролюється централізовано. За фальсифікацію або приховування даних про забруднення передбачена кримінальна відповідальність. Це стало відповіддю на суспільний запит на надійну екологічну інформацію, особливо після скандалів, пов'язаних з приховуванням даних до 2013 року.

Китай активно застосовує супутникові технології та штучний інтелект для покращення точності прогнозів. У співпраці з науковими установами (зокрема, Китайською академією наук) та міжнародними агентствами були створені аналітичні системи, які дозволяють моделювати поширення забруднюючих речовин, враховуючи топографію, кліматичні умови, швидкість вітру, інверсії та міську забудову. Наприклад, платформа HEI-China Project дозволяє порівнювати вплив повітряного забруднення на здоров'я населення з використанням багаторічних даних супутникових знімків та результатів медичних досліджень [46].

Крім того, у КНР реалізується система раннього попередження про небезпечні рівні забруднення, яка активується автоматично за перевищенням встановлених порогів. Вона включає припинення роботи підприємств, обмеження транспорту, заборону будівельних робіт, а також рекомендації населенню щодо обмеження перебування на відкритому повітрі. Ця система була особливо важливою у великих мегаполісах, таких як Пекін, Шанхай, Гуанчжоу та Сіань.

Іншою важливою складовою є включення екологічного моніторингу до системи управління на рівні провінцій і муніципалітетів. Кожен регіон зобов'язаний щоквартально публікувати рейтинги міст за рівнем забруднення, що стало ефективним інструментом тиску на місцеву владу і стимулом до екологічних реформ. Публікація таких рейтингів посилила конкуренцію між містами за екологічну якість і сприяла впровадженню місцевих програм очищення повітря [44].

Китай також експериментує з використанням мобільних сенсорів і краудсорсингових ініціатив, залучаючи населення до участі в моніторингу. Ряд громадських платформ, таких як Blue Map App, дозволяють мешканцям фіксувати випадки забруднення, отримувати сповіщення про якість повітря та подавати скарги в режимі онлайн.

Порівняльний аналіз досвіду провідних країн і регіонів світу у сфері моніторингу якості атмосферного повітря засвідчує, що ефективність системи екологічного контролю забезпечується не окремими елементами, а цілісним підходом, який поєднує технічну, нормативну, організаційну та соціальну складові. Незалежно від політичної моделі чи рівня економічного розвитку, країни з успішною системою моніторингу дотримуються спільних принципів: науково обґрунтованих стандартів, широкого доступу до екологічної інформації, використання цифрових технологій та участі громадськості.

Таблиця 1.2.
(укладено автором за матеріалами [42,43,45,54,55,58])

Міжнародний досвід моніторингу якості атмосферного повітря

Країна / регіон	Ключовий орган	Тип системи моніторингу	Індекс якості повітря	Особливості
Європейський Союз (ЄС)	Європейське агентство з довкілля (ЕЕА) + національні органи	Мережа референтних станцій + супутники (CAMS) + модельні розрахунки	European Air Quality Index (EAQI)	Глибока нормативна база (Директива 2008/50/ЄС), обов'язкове щогодинне оновлення, публічні онлайн-карти, інтеграція з Copernicus
США	EPA (Environmental Protection Agency)	Мережа SLAMS/NAMS + супутники NASA + low-cost sensors	Air Quality Index (AQI)	Стандарти NAAQS, екстрені повідомлення, мобільні додатки, інтеграція з охороною здоров'я, краудсорсинг
Китай	Міністерство екології та довкілля (МЕЕ)	Центральна мережа понад 1500 станцій + супутники + AI-моделювання	China AQI (національний)	Жорсткий контроль за достовірністю даних, кримінальна відповідальність, система попереджень, щогодинні рейтинги міст
Канада	Environment and Climate Change Canada (ECCC)	NAPS провінційні програми + мобільні сенсори	AQHI (Air Quality Health Index)	Індекс зі здоров'ям-орієнтованими рекомендаціями, міжвідомча співпраця, публічні попередження про лісові пожежі

Європейський Союз акцентує увагу на правовій уніфікації, прозорості та інтеграції даних з супутникових, наземних і модельних джерел. США, своєю чергою, демонструють зразок правозастосування та екстреного інформування громадян, поєднуючи централізований контроль з низовими ініціативами. Китай вирізняється масштабністю, швидкістю модернізації та жорстким державним контролем якості даних. Канада акцентує на охороні здоров'я населення, регіональній адаптації моніторингу та міжвідомчій інтеграції, що дозволяє ефективно управляти якістю повітря навіть у малонаселених або ризикованих територіях.

Усі розглянуті країни та регіони активно використовують індекси якості повітря як зручний інструмент комунікації з громадськістю, застосовують супутникові технології та розвивають публічні цифрові платформи для оперативного доступу до екологічної інформації. Спільним трендом також є включення екологічного моніторингу до систем охорони здоров'я, громадської безпеки та стратегічного планування.

Для України, особливо в умовах війни та післявоєнного відновлення, цей міжнародний досвід є надзвичайно цінним. Він свідчить про необхідність переходу від фрагментованої системи до інтегрованої, орієнтованої на захист життя і здоров'я людей. Застосування гнучких моделей моніторингу, автоматизація збору даних, розвиток публічних сервісів і співпраця між владою, наукою та громадськістю можуть суттєво підвищити ефективність державної політики у сфері охорони атмосферного повітря. З огляду на збройний конфлікт, особливо актуальним є впровадження мобільних станцій, екстрених протоколів реагування та фіксація екологічних збитків, що вимагає адаптації міжнародного досвіду до українських реалій.

1.3. Основні забруднювачі атмосферного повітря

Атмосферне повітря, як одна з основних складових географічної оболонки, зазнає інтенсивного антропогенного впливу, наслідком чого є його забруднення різноманітними речовинами природного та штучного походження. Основні забруднювачі повітря поділяються за фізико-хімічними властивостями, джерелами походження та характером впливу на довкілля і здоров'я людини. Їх наявність у повітряному середовищі, навіть у низьких концентраціях, може спричиняти негативні зміни в атмосфері, біосфері та антропогенних системах, особливо в умовах урбанізації, індустріалізації та воєнних дій. Серед основних забруднювачів атмосферного повітря виділяють шість речовин, які є об'єктами постійного моніторингу в більшості країн світу [37] (табл. 1.3.)

Таблиця 1.3.

Класифікація основних забруднювачів атмосферного повітря

Забруднювач	Основні джерела	Вплив на здоров'я людини
<i>PM2.5 / PM10</i>	Спалювання палива, пил, вибухи	Пил у легенях, серцева патологія
<i>NO₂</i>	Транспорт, промисловість	Запалення легень, алергії
<i>O₃ (приземний)</i>	Фотохімічні реакції з NO _x і ЛОС	Окисник, знижує функції дихання
<i>CO</i>	Неповне згоряння, пожежі	Гіпоксія, отруєння
<i>SO₂</i>	Вугільні ТЕС, вибухи	Кислотні опади, респіраторні хвороби
<i>Свинець (Pb)</i>	Металургія, старі батареї	Нейротоксичність, дитяча патологія
<i>ЛОС</i>	Розчинники, бензин, фарби	Токсичність, ризик раку
<i>ПАВ</i>	Паливо, згоряння, канцерогени	Канцерогенність, мутації
<i>NH₃</i>	Тваринництво, добрива	Подразнення, токсичність
<i>Військові токсиканти</i>	Боєприпаси, хімічні атаки	Гострі отруєння, довготривалий вплив

Завислі тверді частинки (PM10 і PM2.5) є найдрібнішими аерозольними частками, що утворюються в результаті різних процесів горіння, абразивного зносу поверхонь, пилових бур, лісових пожеж та військових дій. Частинки PM10 мають діаметр до 10 мкм і затримуються у верхніх дихальних шляхах, тоді як PM2.5 (діаметром до 2.5 мкм) проникають глибше – в альвеоли легень, а потім у кров. Ці частинки здатні викликати серцево-судинні, дихальні та онкологічні захворювання, особливо при тривалому впливі.

Діоксид азоту (NO₂) – газ, який належить до групи оксидів азоту (NO_x), утворюється переважно під час високотемпературного згоряння палива в транспорті, енергетиці та промисловості. Він є не лише самостійним забруднювачем, а й попередником вторинного утворення озону та кислотних дощів. NO₂ подразнює слизові оболонки дихальних шляхів, сприяє розвитку бронхітів, астми, а також знижує здатність організму боротися з респіраторними інфекціями [23].

Озон (O_3) у приземному шарі атмосфери утворюється не безпосередньо, а як результат фотохімічних реакцій між оксидами азоту та леткими органічними сполуками за участю ультрафіолетового випромінювання. Приземний озон – сильний окисник, який ушкоджує клітини легеневої тканини, викликає зниження функціональності дихальної системи, особливо у дітей та осіб із хронічними захворюваннями. На відміну від стратосферного озону, що захищає планету від УФ-випромінювання, приземний має токсичний вплив [23].

Оксид вуглецю (CO) – безбарвний і без запаху газ, що утворюється при неповному згорянні палива, особливо в транспорті, печах, котельнях, генераторах. Під час воєнних дій та надзвичайних ситуацій його концентрація зростає внаслідок пожеж, вибухів і руйнувань інфраструктури. CO легко зв'язується з гемоглобіном крові, витісняючи кисень, що спричиняє гіпоксію (кисневе голодування). Навіть короткочасний вплив високих концентрацій може призвести до втрати свідомості, ураження мозку або смерті [23].

Діоксид сірки (SO_2) – це газ, що виділяється під час спалювання вугільного палива з високим вмістом сірки, а також у результаті вулканічної активності та військових вибухів. Основними антропогенними джерелами є електростанції, металургійні підприємства та хімічна промисловість. SO_2 має різкий подразнюючий запах, провокує запалення дихальних шляхів, викликає кашель, бронхоспазми, а також може взаємодіяти з водяною парою та утворювати сірчану кислоту, що є основним компонентом кислотних дощів [23].

Свинець (Pb) – важкий метал, який в атмосферу надходить переважно у вигляді пилоподібних частинок внаслідок виплавки металів, зносу акумуляторів, використання залишкових палив, а також військової техніки. У минулому одним із основних джерел був етилований бензин, але його використання в багатьох країнах зведено до мінімуму. Свинець є високотоксичною речовиною, що накопичується в організмі, впливає на центральну нервову систему, викликає порушення когнітивного розвитку у дітей, знижує інтелектуальні здібності та сприяє виникненню серцево-судинних захворювань [23].

Леткі органічні сполуки (ЛОС) – це група органічних хімічних речовин, які легко випаровуються при кімнатній температурі. Серед них – бензол, толуол, ксилол, формальдегід та інші компоненти, що містяться у фарбах, лаках, розчинниках, паливах і пластмасах. Основні джерела ЛОС – промислові викиди, автотранспорт, спалювання відходів, а також побутові джерела. У приземному шарі атмосфери ЛОС беруть участь у фотохімічних реакціях з утворення озону. Вони можуть викликати подразнення очей і дихальних шляхів, алергічні реакції, порушення функції печінки та нирок, а деякі з них – мають канцерогенну дію [23].

Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) – це складні органічні сполуки, які містять кілька ароматичних кілець. Вони утворюються головним чином у процесах неповного згоряння органічних матеріалів: палива, деревини, сміття. ПАВ поширюються в атмосфері разом із твердими частками і мають здатність довго зберігатися в середовищі. Деякі з них, як-от бенз(а)пірен, визнані сильними мутагенами і канцерогенами. Постійне вдихання навіть малих доз ПАВ призводить до порушень ДНК, розвитку онкологічних хвороб, а також негативно впливає на репродуктивну систему [23].

Аміак (NH_3) – безбарвний газ із різким запахом, що утворюється переважно в аграрному секторі, зокрема при зберіганні і внесенні органічних та мінеральних добрив, а також у тваринницьких комплексах. Значні викиди аміаку також можливі на хімічних підприємствах і під час пожеж, особливо в умовах бойових дій. NH_3 подразнює слизові оболонки очей і дихальних шляхів, сприяє утворенню вторинного аерозолі (наприклад, амонійних солей), що входить до складу $\text{PM}_{2.5}$. Тривалий вплив може викликати порушення роботи дихальної та нервової системи [23].

Військові токсиканти – це різноманітні хімічні речовини, які потрапляють в атмосферу внаслідок бойових дій, вибухів, горіння техніки, ракетних ударів, знищення нафтобаз, складів боєприпасів, хімічних об'єктів. Серед них – хлор, фосген, діоксини, продукти горіння пластмас, вибухові гази, радіоактивний пил.

Їхній склад залежить від типу озброєння та характеру бойових дій. Військові токсиканти мають гостру та хронічну токсичність, можуть викликати ураження дихальної системи, інтоксикацію, мутації, ракові захворювання та довготривалі екологічні наслідки. В умовах війни їхній вплив є особливо небезпечним через раптовість, нерівномірність поширення та відсутність системного контролю [23].

Таким чином, основні забруднювачі атмосферного повітря – як традиційні (PM, NO₂, SO₂, CO, O₃, свинець), так і додаткові (ЛОС, ПАВ, NH₃, військові токсиканти) – мають різноманітне походження та відрізняються за механізмом впливу на довкілля і здоров'я людини. Їхня наявність у повітрі є прямим наслідком антропогенної діяльності, включаючи промисловість, транспорт, сільське господарство, а в умовах війни – ще й збройних дій. Найбільшу небезпеку становлять дрібнодисперсні частинки, токсичні гази та хімічні сполуки, які викликають хронічні захворювання, погіршення якості життя та втрати екосистемної рівноваги. У зв'язку з цим моніторинг концентрацій таких речовин і реагування на перевищення допустимих рівнів є ключовим завданням сучасної екологічної політики.

РОЗДІЛ 2. НАЦІОНАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

2.1. Моніторинг атмосферного повітря в Україні

Система моніторингу атмосферного повітря в Україні є складовою частиною державної системи моніторингу довкілля та функціонує відповідно до постанови Кабінету Міністрів України № 827 від 14 серпня 2019 року [12]. Метою цієї системи є забезпечення збору, обробки, збереження й аналізу інформації про якість повітря, оцінювання та прогнозування її змін, а також інформування населення про стан повітря та вплив його забруднення на здоров'я [27].

Організаційна структура моніторингу атмосферного повітря в Україні є багаторівневою та включає як центральні органи виконавчої влади, так і регіональні та місцеві установи. Вона функціонує в рамках загальнодержавної системи моніторингу довкілля відповідно до Постанови, яка регламентує порядок проведення спостережень, обробки, аналізу та поширення даних про стан атмосферного повітря. Головною метою організаційної побудови є координація дій різних суб'єктів та забезпечення безперервного й достовірного контролю за якістю повітря у всіх регіонах країни.

Координуючу роль у системі моніторингу виконує Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, яке забезпечує загальне нормативне, методичне та інституційне керівництво, визначає вимоги до технічного оснащення та формує державну політику у сфері охорони атмосферного повітря. Воно також відповідає за інтеграцію української системи моніторингу до міжнародних стандартів Європейського Союзу [38].

Важливим суб'єктом є Міністерство охорони здоров'я України, яке через підпорядковані установи виконує моніторинг атмосферного повітря в межах житлової забудови, на територіях медичних, освітніх та рекреаційних закладів.

МОЗ акцентує увагу на визначенні гігієнічних нормативів, оцінці ризиків для здоров'я населення, зокрема в містах із високим рівнем забруднення.

Ключовим виконавцем технічних спостережень є Український гідрометеорологічний центр ДСНС України, який здійснює безперервне вимірювання забруднюючих речовин на понад 160 стаціонарних постах у понад 50 населених пунктах. Ці спостереження проводяться за уніфікованими методиками відповідно до міжнародних стандартів. Пункти спостереження розташовані з урахуванням типів забудови, транспортного навантаження, індустриального впливу, що дозволяє формувати репрезентативну картину стану повітря [36].

До структури також входить Державна екологічна інспекція України, яка проводить вибіркові перевірки якості повітря поблизу стаціонарних джерел викидів (підприємств, ТЕС, транспортних вузлів), контролює дотримання екологічних норм та веде облік понад 60 параметрів забруднення. Її функції спрямовані на контроль за дотриманням вимог природоохоронного законодавства підприємствами, а також на притягнення до відповідальності у разі виявлення порушень.

Окрему роль відіграють органи місцевого самоврядування – обласні та міські ради, виконавчі комітети, які згідно з чинним законодавством мають право самостійно встановлювати додаткові пости моніторингу, закуповувати обладнання, організувати публічний доступ до даних та ініціювати розслідування екологічних інцидентів. У низці українських міст – зокрема Харкові, Львові, Києві – муніципалітети активно впроваджують автоматизовані системи моніторингу за участі громадських ініціатив [35].

Важливу допоміжну роль у сучасній організаційній структурі відіграють некомерційні громадські проєкти, такі як SaveEcoBot, EcoCity, Luftdaten та інші. Вони забезпечують моніторинг за допомогою мобільних сенсорів, агрегують дані в реальному часі та публікують їх у відкритому доступі. Хоча ці проєкти не є офіційними суб'єктами державної системи, вони виконують роль додаткового

джерела даних, особливо у кризових ситуаціях, коли державна система тимчасово непрацездатна (наприклад, в умовах бойових дій чи техногенних катастроф).

Загалом організаційна структура моніторингу атмосферного повітря в Україні є складною та багаторівневою, проте завдяки її функціонуванню забезпечується збір, обробка й аналіз великого масиву екологічної інформації. Її ефективність значно залежить від узгодженості між усіма ланками, технічного забезпечення, нормативного оновлення, а також активної участі громадськості в екологічному контролі.

Параметри моніторингу атмосферного повітря в Україні визначаються відповідно до національних екологічних нормативів та рекомендацій Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ). Основною метою спостережень є визначення вмісту в атмосфері забруднювальних речовин, оцінка ступеня забруднення та прогнозування його впливу на здоров'я населення і стан довкілля.

Основними контрольованими параметрами є концентрації так званих «критерійних» забруднювачів, які становлять найбільшу загрозу для здоров'я людини [34]. Серед них визначають:

- тверді частинки (пил) PM10 і PM2.5,
- діоксид сірки (SO₂),
- діоксид азоту (NO₂),
- оксид вуглецю (CO),
- приземний озон (O₃),
- свинець (Pb),
- формальдегід (HCHO),
- бенз(а)пірен,
- а також за необхідності – аміак (NH₃), леткі органічні сполуки (ЛОС)

та інші токсиканти, особливо в умовах надзвичайних ситуацій, таких як пожежі, аварії чи бойові дії.

Пункти спостережень проводять щоденні, тижневі або погодинні вимірювання, в залежності від типу забруднювача, місця розташування посту та технічних можливостей. Найбільш небезпечні речовини, як-от PM_{2.5}, CO або NO₂, вимірюються з високою частотою (кожні 1–3 години або безперервно) в населених пунктах з підвищеним навантаженням – поблизу автотрас, промислових об'єктів, густонаселених районів. Методи вимірювання представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Методи вимірювання [36]

Назва методу	Характеристика
Фіксовані (референтні) методи	Це найбільш точні лабораторно-аналітичні методики, які використовуються на стаціонарних постах спостереження. Вони ґрунтуються на застосуванні приладів автоматичного відбору проб, хімічного аналізу газів і аерозолів, фотометрії, спектрофотометрії, мас-спектрометрії тощо. Дані, отримані за цими методами, є основою для офіційної статистики та звітності.
Індикативні методи	Вони використовуються в мобільних станціях або на тимчасових пунктах, мають нижчу точність, але дозволяють оперативно визначати загальний рівень забруднення. Застосовуються для орієнтовної оцінки ситуації в разі виникнення екологічної небезпеки, під час моніторингу у сільських або тимчасово неконтрольованих регіонах. Прикладами є сенсори низької вартості (low-cost sensors), електрохімічні та оптичні датчики
Моделювання та супутниковий моніторинг	Це методи, які використовуються для доповнення наземних спостережень, особливо на регіональному або національному рівні. Геоінформаційні системи (ГІС), атмосферні моделі розповсюдження забруднювачів (наприклад, CALPUFF, AERMOD, LOTOS-EUROS) дозволяють будувати прогнози, виявляти зони підвищеного ризику, проводити ретроспективний аналіз джерел забруднення. Супутникові знімки (NASA, Copernicus Sentinel) дають змогу відстежувати великомасштабні явища, як-от димові шлейфи, викиди від пожеж або промислових об'єктів

Окремо слід зазначити, що військові дії в Україні після 2022 року актуалізували потребу в гнучких, мобільних та автономних засобах вимірювання, які дозволяють оперативно реагувати на зміну екологічної ситуації навіть у складних умовах. Громадські ініціативи, такі як SaveEcoBot, активно використовують індикативні сенсори та об'єднують дані в публічну систему, що має важливе соціальне значення [24, 31].

Таким чином, ефективний моніторинг атмосферного повітря в Україні базується на поєднанні класичних фіксованих методів, оперативних індикативних технологій та сучасного супутникового спостереження з моделюванням. Різномірний підхід забезпечує гнучкість, точність і надійність даних, що є основою для екологічного планування, захисту здоров'я населення та формування відповідної політики у сфері охорони довкілля.

Інформаційне забезпечення системи моніторингу атмосферного повітря є критично важливим елементом як для державного управління, так і для формування екологічної обізнаності населення. Від того, наскільки оперативно, прозоро та достовірно доступна інформація про стан повітря, залежить ефективність заходів реагування на екологічні загрози, дотримання екологічного законодавства та зниження ризиків для здоров'я людини.

На сьогодні в Україні інформація про якість повітря збирається, обробляється та передається до єдиного центру з використанням електронних систем збору даних. Основна частина вимірювань виконується Українським гідрометеорологічним центром через мережу стаціонарних постів, оснащених автоматизованими приладами. Зібрані показники потрапляють до баз даних, де проходять первинну валідацію, аналіз та архівування. Результати передаються до Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів, яке акумулює інформацію для формування національних звітів, аналізу динаміки забруднення та оцінки ефективності природоохоронної політики [30].

З 2019 року в Україні активно розвивається Національна система моніторингу довкілля, яка має включати вісім функціональних підсистем, у тому

числі підсистему атмосферного повітря. Ця система покликана забезпечити уніфікацію джерел даних, їх автоматизоване збирання, перевірку достовірності та публічну доступність через єдину цифрову платформу. На базі цієї системи буде можливе формування екологічних прогнозів, аналітичних моделей впливу забруднювачів на здоров'я населення, а також підготовка звітності відповідно до європейських директив (зокрема Директиви 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря).

З метою забезпечення громадського доступу до екологічної інформації, в Україні впроваджуються онлайн-ресурси, які в реальному часі відображають дані про стан повітря. Найвідомішим серед них є SaveEcoBot – автоматизована платформа, яка агрегує дані як із державних постів, так і з громадських сенсорів (наприклад, Luftdaten) [31]. На карті відображається індекс якості повітря (AQI), концентрації основних забруднювачів (PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, CO тощо), а також статистика за добу, тиждень і місяць. Подібні сервіси виконують важливу просвітницьку функцію, сприяючи формуванню екологічно свідомої поведінки громадян.

Також слід відзначити розвиток громадського моніторингу, який став особливо актуальним в умовах війни. Через знищення або пошкодження частини державної мережі моніторингу, мешканці міст і активісти встановлюють побутові сенсори якості повітря, підключені до відкритих онлайн-платформ. Такі дані, хоч і менш точні, дозволяють отримати загальну картину забруднення у зоні конфлікту або після атак на промислову інфраструктуру.

На рівні регіонів та громад органи місцевого самоврядування також дедалі активніше долучаються до інформаційного забезпечення моніторингу. У великих містах України, таких як Київ, Львів, Харків, Дніпро, встановлюються локальні автоматизовані пункти спостережень, а їхні дані публікуються на муніципальних вебпорталах [31]. Цей підхід сприяє зміцненню взаємодії між громадянами, науковими установами, бізнесом і владою.

Водночас, залишаються виклики, пов'язані з фрагментарністю даних, відсутністю єдиного стандарту обліку, недостатньою інтеграцією між державними і громадськими системами. Повноцінне функціонування інформаційної системи моніторингу вимагає подальшого технічного оснащення, навчання персоналу, стабільного фінансування та законодавчого закріплення обов'язкового публічного доступу до екологічної інформації.

Отже, інформаційне забезпечення моніторингу атмосферного повітря в Україні перебуває у процесі трансформації – від розрізнених і переважно закритих систем до прозорі, інтегрованої, цифрової платформи з відкритим доступом до актуальних екологічних даних. Такий підхід відповідає європейським стандартам та є запорукою підвищення ефективності екологічного управління та залучення громадян до контролю якості довкілля.

2.2. Нормування забруднень. Індекси якості атмосферного повітря.

Нормування забруднень атмосферного повітря є ключовим інструментом екологічної політики, спрямованої на обмеження викидів шкідливих речовин у повітряне середовище та захист здоров'я населення [38]. В Україні ця система базується на встановленні граничнодопустимих концентрацій (ГДК), технологічних нормативів викидів, а також впровадженні індексів, які дозволяють комплексно оцінити стан повітряного басейну.

Граничнодопустимі концентрації (ГДК) – це нормативно встановлені рівні забруднювальних речовин у повітрі, які за тривалого або короткочасного впливу не повинні завдавати шкоди людині чи довкіллю. В Україні вони визначаються згідно з Державними санітарними нормами [36], а також з урахуванням рекомендацій Всесвітньої організації охорони здоров'я. ГДК поділяються на:

- максимально разову – не повинна перевищуватися навіть короткочасно;

- середньодобову – середня концентрація, яка не повинна перевищуватися протягом 24 годин;
- середньорічну – контрольна величина для довготривалого впливу.

Окрім ГДК, у нормативно-правовій базі діють нормативи гранично допустимих викидів (ГДВ) для стаціонарних джерел, які встановлюються на основі аналізу технологічних можливостей і рівня екологічної небезпеки підприємства.

Для оцінювання сумарного впливу багатьох забруднювачів використовується індекс якості атмосферного повітря (ІЯАП, або AQI – Air Quality Index). Це інтегральний показник, що обчислюється на основі концентрацій декількох ключових речовин (PM10, PM2.5, NO₂, SO₂, CO, O₃). Його значення дозволяє швидко оцінити ступінь небезпеки забруднення для населення. У загальноприйнятій шкалі AQI виділяють такі діапазони [31]:

- 0–50 – «добрий» рівень якості повітря (низький ризик);
- 51–100 – «помірний» (можливий вплив на чутливі групи);
- 101–150 – «нездоровий для чутливих осіб»;
- 151–200 – «нездоровий» (вплив на все населення);
- 201–300 – «дуже нездоровий» (високий ризик);
- 300+ – «небезпечний» (можливі серйозні наслідки для здоров'я).

Індекс AQI активно використовується у багатьох країнах світу для інформування населення в режимі реального часу. В Україні індекси якості повітря інтегруються в платформи SaveEcoBot, EcoCity та муніципальні системи екологічного моніторингу [31]. Оскільки забруднення часто носить часовий та просторовий характер (наприклад, пікове навантаження вдень, особливо в трафікових зонах), AQI дозволяє відслідковувати небезпечні періоди й адаптувати поведінку (наприклад, уникати активності на відкритому повітрі, використовувати маски чи очищувачі повітря).

Окрему категорію становлять індекси хімічного забруднення для довготривалого аналізу: індекс забруднення атмосфери (ІЗА), індекс хімічного

навантаження, агреговані екологічні індекси за Європейськими стандартами (наприклад, EEA Air Pollution Index), які використовуються для наукового аналізу, управлінських рішень та міжнародної звітності.

Таким чином, нормування забруднень атмосферного повітря в Україні базується на поєднанні граничних нормативів та індексних оцінок. Їхнє використання дозволяє не лише контролювати джерела викидів, а й оперативно реагувати на підвищення рівнів забруднення, попереджати наслідки для здоров'я населення та оцінювати динаміку екологічної ситуації.

Індекс якості повітря (AQI) є важливим аналітичним інструментом для оперативної оцінки стану атмосфери. Із розвитком цифрового моніторингу виникла потреба не лише в середньодобовій оцінці, а й у більш динамічних показниках, які б точно відображали короточасні коливання забруднення, особливо в умовах екологічних інцидентів чи кризових ситуацій. Саме з цією метою було розроблено формулу NowCast, що використовується Агентством з охорони навколишнього середовища США (US EPA), а також її адаптації – зокрема, UAQI (Ukrainian Air Quality Index), що починає впроваджуватися в Україні [32].

NowCast – це методика розрахунку індексу якості повітря на основі поточних концентрацій дрібнодисперсного пилу (PM_{2.5} або PM₁₀) за останні 12 годин. На відміну від класичної добової середньої, яка згладжує дані, NowCast дозволяє враховувати актуальні тенденції – наприклад, різке зростання забруднення внаслідок пожежі, промислової аварії або метеоумов. Формально, формула NowCast виглядає наступним чином [27]:

$$\text{NowCast} = \text{weighted average of hourly concentrations,}$$

де ваги залежать від варіативності концентрацій у межах останніх 12 годин.

Такий підхід дозволяє: відображати реальний стан повітря тут і зараз; забезпечувати щогодинне оновлення індексу; застосовувати індекс у мобільних

додатках, попередженнях і новинах; швидше реагувати на короткочасні кризи, особливо при підвищенні PM2.5.

UAQI (Ukrainian Air Quality Index) – це адаптація міжнародної концепції AQI для умов України [34]. Він розробляється як уніфікований цифровий інструмент у межах державної стратегії модернізації екологічного моніторингу. Його мета – забезпечити єдину шкалу для аналізу, порівняння та публічного інформування про якість повітря в реальному часі. Він базується на: концентраціях PM2.5, PM10, NO₂, CO, O₃, SO₂; використанні щогодинних або середньодобових значень; застосуванні кольорової шкали категорій (добре, помірно, шкідливо, дуже шкідливо, небезпечно – як і в системі AQI); орієнтації на європейські директиви (зокрема Директиву 2008/50/EC).

В умовах воєнного стану UAQI став оперативним засобом попередження, оскільки дає змогу фіксувати екологічні наслідки вибухів, пожеж, руйнувань об'єктів інфраструктури тощо (таб. 2.2.).

Таблиця 2.2.

Порівняння: NowCast vs UAQI

Параметр	NowCast (US EPA)	UAQI (Україна)
Джерело	Агентство з охорони довкілля США (EPA)	Національна ініціатива, підтримка громадських платформ
Тип розрахунку	Динамічний за останні 12 годин	Класичний або адаптивний за середніми значеннями
Частота оновлення	Щогодинно	1 година або 24 години
Призначення	Громадське інформування, кризові ситуації	Інформування, науковий аналіз
Актуальність для України	Обмежена	Висока – адаптований до місцевих умов

Отже, інтеграція таких індексів, як NowCast та UAQI, в українську систему моніторингу повітря значно підвищує її ефективність, особливо в умовах частих

екологічних інцидентів та воєнної нестабільності. Вони дозволяють не лише фіксувати стан довкілля, а й прогнозувати ризики, формувати публічні попередження, впроваджувати захисні заходи для вразливих груп населення. У майбутньому UAQI має стати офіційно закріпленим державним стандартом для оперативного екологічного інформування.

2.3. Організація моніторингу атмосферного повітря в м. Харків

Місто Харків – один з найбільших індустріальних, транспортних і наукових центрів України, що зумовлює високе антропогенне навантаження на атмосферне повітря. Забруднення повітря в місті має змішане походження: воно формується внаслідок інтенсивного дорожнього руху, роботи промислових підприємств, енергетичних об'єктів, спалювання відходів, а з 2022 року – ще й внаслідок руйнувань об'єктів інфраструктури під час військових дій. У зв'язку з цим організація ефективного моніторингу атмосферного повітря у Харкові є надзвичайно важливою як з точки зору екологічної безпеки, так і охорони здоров'я населення [17].

До 2022 року система моніторингу якості повітря у Харкові базувалась на поєднанні державної, муніципальної та громадської ініціатив. На території міста діяли пункти спостереження, підпорядковані Українському гідрометеорологічному центру, які здійснювали регулярні вимірювання вмісту забруднювальних речовин – таких як оксиди азоту, сірки, чадний газ, пил, формальдегід та інші. Спостереження проводилися на декількох стаціонарних постах, які були розміщені в типових зонах: поблизу промислових підприємств, житлових районів і транспортних вузлів. Протоколи спостережень передавалися до Харківського обласного центру з гідрометеорології для подальшого аналізу та узагальнення [17].

Водночас значну роль почали відігравати громадські платформи, зокрема SaveEcoBot. У співпраці з місцевими активістами та муніципалітетом було

встановлено кілька індикативних сенсорів для оперативного відображення рівнів PM_{2.5}, PM₁₀ та інших параметрів. Дані з цих сенсорів публікувалися у відкритому доступі, що дало змогу мешканцям Харкова в режимі реального часу отримувати інформацію про рівень забруднення повітря та адаптувати свою поведінку (наприклад, уникати прогулянок у години пік або користуватись фільтрами повітря у приміщеннях).

Після початку повномасштабного вторгнення у 2022 році, система моніторингу в місті зазнала суттєвих змін. Частина стаціонарних постів була пошкоджена або втратила доступ до електропостачання, деякі райони міста стали тимчасово недоступними для регулярних спостережень. У цих умовах пріоритет було надано мобільним сенсорам, індикативним приладам та супутниковому моніторингу (наприклад, використання даних Sentinel-5P). Військові дії призвели до збільшення кількості забруднювачів, пов'язаних з горінням будівельних матеріалів, вибухами, знищенням транспорту й техніки, що ускладнило оцінку впливу забруднення на здоров'я населення [15].

Загалом, організація моніторингу атмосферного повітря у Харкові в сучасних умовах характеризується:

- частковим відновленням стаціонарної мережі спостережень;
- активною участю громадськості у зборі й поширенні даних;
- широким використанням відкритих онлайн-платформ (SaveEcoBot, OpenAQ);
- орієнтацією на індикативні та супутникові методи через обмеження доступу до частини територій;
- потребою у модернізації, відновленні й уніфікації вимірювальних систем.

Індекс якості атмосферного повітря атмосферного повітря, розрахований за формулою NowCast (US EPA) для головного забрудника повітря –

дрібнодисперсного пилу фракції 2,5 мікрона, в місті Харків станом на 00:00, 22 червня 2024 року дорівнює 8 – це добрий рівень забруднення атмосферного повітря, який має мінімальний вплив на здоров'я людей [16, 8] (рис. 2.1.).



Рис. 2.1 Індекс якості атмосферного повітря у м. Харкові

Формула показує якість повітря за годину (отсання на момент розрахунку) за допомогою розрахунку, який враховує раніше зареєстровані дані. NowCast використовує усереднені значення за триваліший період часу при стабільній якості повітря та середні значення за більш короткі періоди, коли якість повітря швидко змінюється, наприклад під час пожежі. NowCast відображає зміни якості повітря протягом дня в тому числі [8].

Український альтернативний індекс якості повітря (UA AQI) — це спеціально розроблений інструмент для оцінки стану атмосферного повітря в Україні, який враховує національні особливості забруднення та потреби населення. Він відрізняється від загальноприйнятих європейських стандартів, зокрема тим, що включає в розрахунок такі забруднювачі, як чадний газ (CO) і формальдегід, які є характерними для українських міст. Для Харкова представлений на наступному рисунку (рис. 2.2).

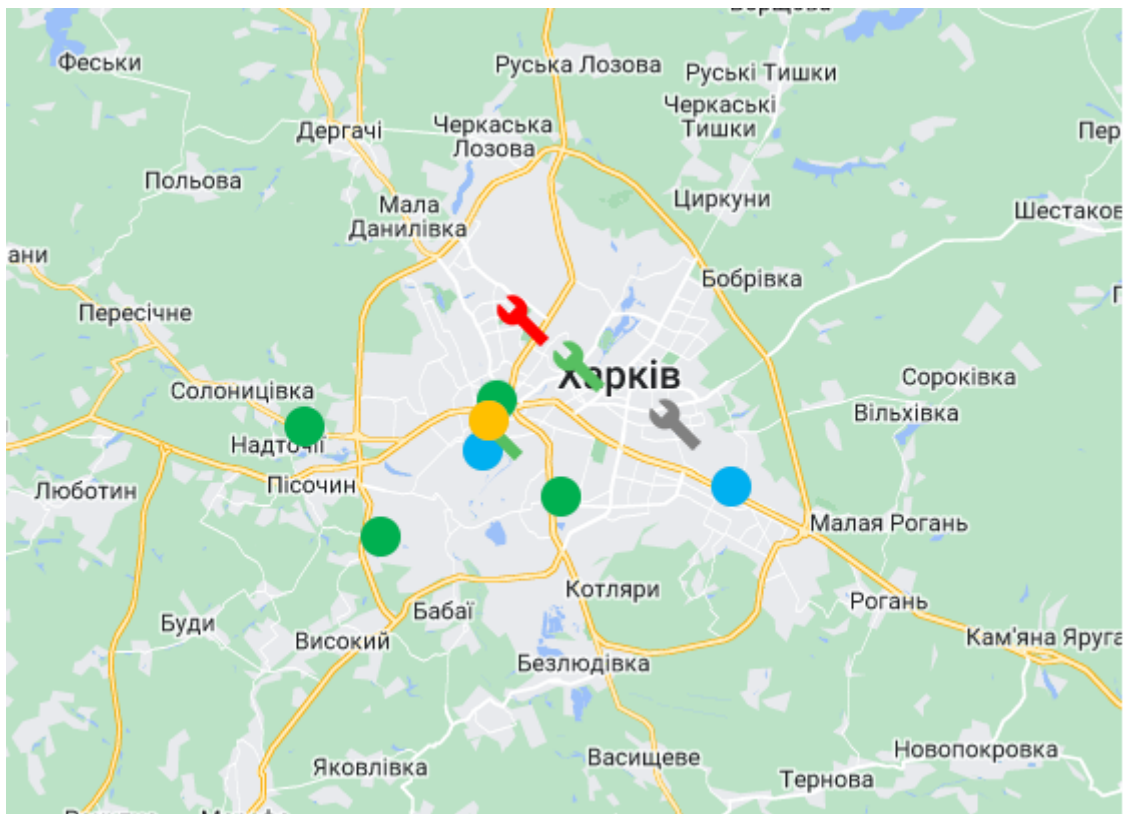


Рис. 2.2. Український альтернативний індекс якості повітря (UA AQI)

Український альтернативний індекс якості повітря (UA AQI) класифікує рівень забруднення атмосферного повітря за шестибальною шкалою з урахуванням потенційного впливу на здоров'я населення. Ця система орієнтована на простоту сприйняття та враховує специфіку екологічної ситуації в Україні. Результати представлені таблицею (табл.3.1).

Таблиця 3.1.

Категорії якості повітря за даними UA AQI [17]

Категорія	Значення	Для уразливих та чутливих груп
Категорія якості повітря I	Добра якість повітря	Концентрація забруднюючих речовин у повітрі знаходиться в допустимих межах і не створює загрози для здоров'я. Ви можете безпечно організовувати будь-яку діяльність, відпочинок чи перебування на відкритому повітрі без необхідності вжиття додаткових заходів обережності.

Категорія	Значення	Для уразливих та чутливих груп
Категорія якості повітря II	Задовільна якість повітря	<p>Якість повітря відповідає санітарним нормам і не становить загрози для здоров'я населення. Можна безперешкодно планувати будь-яку активність на свіжому повітрі — прогулянки, заняття спортом або відпочинок — без потреби в обмеженнях чи спеціальних застереженнях. В окремих випадках у людей з підвищеною чутливістю до атмосферних забруднювачів можуть спостерігатися легкі дискомфортні відчуття, такі як кашель або утруднене дихання. Таким особам рекомендується уникати тривалих або інтенсивних фізичних навантажень на відкритому повітрі.</p>
Категорія якості повітря III	Якість повітря несприятлив а	<p>Якість повітря загалом відповідає допустимим нормам, однак для осіб з підвищеною чутливістю до забруднень можливий негативний вплив на здоров'я при тривалому перебуванні на відкритому повітрі. Під час планування активностей на свіжому повітрі варто зважати на рекомендації та обмеження, особливо для вразливих груп населення. Людям із чутливістю до забруднення повітря рекомендується уникати тривалих або інтенсивних фізичних навантажень на вулиці. У разі появи дискомфортного дихання, кашлю, задишки чи інших рефлексорних симптомів варто дотримуватись індивідуальних медичних рекомендацій та терапевтичних планів. Особи, які страждають на астму, хронічне обструктивне захворювання легень (ХОЗЛ) або інші респіраторні хвороби, можуть відчути загострення симптомів. Їм слід уважно дотримуватись приписаного лікарем лікування та вчасно приймати медикаменти. Також люди з серцево-судинними захворюваннями можуть спостерігати посилення таких реакцій, як пришвидшене серцебиття, утруднене дихання чи підвищена втома. Якщо ці симптоми зберігаються протягом тривалого часу, рекомендовано звернутися до лікаря й суворо дотримуватись його рекомендацій.</p>

Категорія	Значення	Для уразливих та чутливих груп
Категорія якості повітря IV	Погана якість повітря	<p>Концентрація забруднюючих речовин у повітрі є підвищеною і може становити ризик для здоров'я при тривалому впливі. Усі групи населення потенційно піддаються загостренню фізіологічних реакцій організму та можуть зазнати негативного впливу на здоров'я за умов тривалого перебування на відкритому повітрі. Рекомендується дотримуватися чинних обмежень та порад щодо тривалості та інтенсивності перебування на свіжому повітрі. Особам із підвищеною чутливістю до забруднення повітря, зокрема тим, хто має хронічні захворювання, варто уникати інтенсивних фізичних навантажень і, за можливості, перенести активності на інший час. Для людей з хронічними респіраторними чи серцево-судинними захворюваннями можливе посилення симптомів, таких як утруднене дихання, кашель, пришвидшене серцебиття чи загальна слабкість. У таких випадках необхідно суворо дотримуватись призначеної терапії, регулярно приймати ліки за рекомендацією лікаря та, за потреби, звернутися за медичною допомогою.</p>
Категорія якості повітря V	Дуже погана якість повітря	<p>У разі підвищеного забруднення повітря навіть короточасний вплив може становити серйозну загрозу для здоров'я осіб, чутливих до атмосферних забруднювачів. Крім того, усі верстви населення можуть зіткнутися з різким загостренням фізіологічних реакцій організму, що потребує підвищеної обережності.</p> <p>Для чутливих та вразливих груп населення діють посилені обмеження і рекомендації щодо перебування на відкритому повітрі. Наполегливо радимо утриматися від будь-якої активності на вулиці або перенести її на інший, більш сприятливий час.</p>

Категорія	Значення	Для уразливих та чутливих груп
		<p>У разі появи симптомів, зумовлених забрудненим повітрям, таких як кашель, задишка, подразнення слизових оболонок чи біль в очах, варто використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання. Якщо такі прояви тривають або погіршуються, необхідно звернутися до лікаря і чітко дотримуватись призначеного плану лікування.</p>
Категорія якості повітря VI	Надзвичайно погана якість повітря	<p>Поточний рівень забруднення повітря є небезпечним навіть за короткотривалого впливу. Всі групи населення можуть зазнати виражених фізіологічних реакцій та негативних наслідків для здоров'я. У зв'язку з цим запроваджено обмеження, застереження та спеціальні рекомендації щодо перебування на відкритому повітрі для будь-яких видів діяльності. Рекомендується утриматися від активності на вулиці або перенести її на інший час. У разі появи реакцій на забруднене повітря — таких як кашель, задишка, подразнення слизових оболонок, біль або печіння в очах — слід використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання. Якщо ці симптоми не зникають або посилюються, варто звернутися до лікаря і чітко дотримуватись його рекомендацій щодо лікування та подальших дій.</p>
Категорія якості повітря VII	Якість повітря тимчасово невідома, причини технічного характеру	<p>У зв'язку з технічними неполадками станції моніторингу якості повітря в зазначеному регіоні тимчасово не надають дані щодо цього показника. Якщо під час перебування на вулиці ви відчуваєте дискомфорт при диханні або маєте виражені фізіологічні реакції (кашель, задишка тощо), рекомендуємо обмежити перебування на відкритому повітрі або перенести активності на інший час, а також скористатися засобами індивідуального захисту органів дихання.</p> <p>У разі тривалих або посиленних симптомів радимо звернутися за медичною допомогою і дотримуватись призначеного лікування та рекомендацій лікаря.</p>

Категорія	Значення	Для уразливих та чутливих груп
Категорія якості повітря VIII	Якість повітря невідома, моніторинг не здійснюється	<p>У зазначеному регіоні моніторинг якості повітря за цим показником наразі не проводиться. Якщо під час перебування на відкритому повітрі ви відчуваєте утруднене дихання, кашель, подразнення або інші виражені фізіологічні реакції, радимо обмежити активність на вулиці або перенести її на пізніший час, а також за можливості використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання.</p> <p>У разі тривалого збереження симптомів або погіршення самопочуття слід звернутися до лікаря та відповідально дотримуватись його рекомендацій.</p>

РОЗДІЛ 3. СТАН АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ м. ХАРКІВ В УМОВАХ ВОЄННИХ ДІЙ

3.1. Основні джерела забруднення повітря в місті Харкові

Атмосферне повітря міста Харкова зазнає значного забруднення внаслідок дії як традиційних антропогенних джерел, так і нових чинників, що виникли у зв'язку з повномасштабною війною. Якщо до 2022 року структура джерел забруднення була типовою для великих промислових центрів України й охоплювала насамперед стаціонарні та мобільні джерела, то з початком бойових дій з'явилися додаткові, надзвичайно небезпечні джерела викидів, пов'язані з руйнуванням об'єктів інфраструктури, пожежами, вибухами, застосуванням озброєння та горінням боєприпасів.

До основних **стаціонарних джерел** забруднення повітря в Харкові належать підприємства теплоенергетики (ТЕЦ-3, ТЕЦ-5), заводи машинобудівного та хімічного профілю, а також об'єкти легкої та харчової промисловості. У мирний час саме вони забезпечували значну частину загального обсягу викидів таких речовин, як пил, оксиди азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю, аміак, формальдегід, а також важкі метали. Частина підприємств у місті продовжує функціонувати навіть в умовах війни, інші – частково або повністю зруйновані, що іноді створює неконтрольовані джерела викидів небезпечних речовин у повітряне середовище.

Істотну роль у забрудненні атмосферного повітря також відіграє **автотранспорт**, який до 2022 року був другим за обсягом джерелом викидів у Харкові. Зменшення цивільного трафіку внаслідок війни частково компенсується зростанням кількості військової техніки, яка часто використовує низькоякісне пальне та генерує значно токсичніші викиди. До основних забруднювачів автотранспорту належать чадний газ, діоксид азоту, леткі органічні сполуки, тверді частки.

Однак найбільш загрозливими для якості повітря є **військово-техногенні джерела**, які виникають унаслідок активних бойових дій. Постійні обстріли, авіаудари, пожежі на промислових та житлових об'єктах супроводжуються викидами сажі, токсичних продуктів горіння будівельних матеріалів, полімерів, нафтопродуктів, оздоблювальних покриттів. Атмосфера забруднюється леткими органічними сполуками (бензол, ксилол, толуол), поліароматичними вуглеводнями, діоксинами, залишками вибухових речовин, сполуками фосфору, азоту, перхлоратами, важкими металами (свинцем, кадмієм, миш'яком). Це створює нові екологічні загрози, які не були властивими мирному періоду.

Додатковим джерелом забруднення є **комунально-побутові джерела**. Через перебої в електро- та газопостачанні багато мешканців вимушено використовують для обігріву печі, твердопаливні пристрої, іноді спалюючи побутове сміття або пластик. Це призводить до зростання концентрацій твердих частинок (PM10 і PM2.5), оксиду вуглецю, діоксинів, летких органічних сполук і формальдегіду, особливо в приватному секторі.

Також не слід виключати вплив **природно-антропогенних чинників**, зокрема загорянь у зелених зонах, лісопарках, балках і заплавах, які можуть бути спричинені бойовими діями або підпалом. У таких випадках до атмосфери потрапляють зола, сажа, метан, чадний і вуглекислий газ, що також негативно впливає на стан повітря.

Узагальнюючи, слід зазначити, що джерела забруднення повітря в Харкові мають складну, змішану природу: від індустріальних і транспортних до воєнно-техногенних. Особливу екологічну небезпеку становлять токсичні продукти горіння, важкі метали, діоксини та леткі органічні сполуки, які масово потрапляють у повітря під час руйнування інфраструктури. У зв'язку з цим особливо актуальним є постійний моніторинг, модернізація вимірювальних станцій, розширення переліку контрольованих речовин і впровадження міжнародних протоколів для документування злочинів проти довкілля.

3.2. Аналіз забруднення повітря в м. Харків станом на 2021 та 2024 роки

Аналіз стану атмосферного повітря здійснено на основі даних спостережень Харківського регіонального центру з гідрометеорології за вмістом забруднюючих речовин у м. Харків на стаціонарних пунктах спостереження (ПСЗ), обладнаних комплексними лабораторіями «ПОСТ-1» та «ПОСТ-2».

Для оцінки якості атмосферного повітря в населених пунктах використовується індекс забруднення атмосфери (далі – ІЗА5), який враховує ступінь забруднення атмосферного повітря по п'яти пріоритетних забруднювальних домішках. ІЗА визначається в умовних одиницях.

У 2021 році стан атмосферного повітря в місті Харкові характеризувався помірним рівнем забруднення з тенденцією до зниження порівняно з попередніми роками. Спостереження проводилися Харківським регіональним центром з гідрометеорології на 10 стаціонарних пунктах спостереження, обладнаних комплексними лабораторіями «ПОСТ-1» та «ПОСТ-2».

Загалом упродовж серпня 2021 року було відібрано та проаналізовано 3944 проби атмосферного повітря на вміст 20 забруднюючих речовин. Спостереження проводилися щоденно, за винятком неділі, що дозволило сформувати повну картину забруднення у динаміці. Максимальні разові концентрації основних забруднюючих речовин у більшості випадків не перевищували гранично допустимі концентрації (ГДК), установлені санітарними нормами. Водночас, за середньомісячними значеннями, спостерігалось перевищення середньодобових ГДК по окремих речовинах. Зокрема, перевищення фіксувалося для діоксиду азоту (NO_2) та формальдегіду (CH_2O), де концентрації в окремих районах перевищували нормативні значення в 1,1–1,6 разів. Це свідчить про стійку присутність цих забруднювачів у міському повітрі, що може бути наслідком високої транспортної активності, значного техногенного навантаження та недостатнього озеленення окремих районів міста.

Для оцінки загального рівня забруднення використовувався Індекс забруднення атмосфери (ІЗА), що розраховується на основі п'яти пріоритетних домішок. У серпні 2021 року середнє значення ІЗА по місту становило 5,38 (у липні – 5,34), що відповідає помірному рівню забруднення (табл.3.1.).

Таблиця 3.1.

Результати спостережень за липень-серпень 2021 рік

№ ПСЗ	Адреса	ІЗА5	
		Липень 2021 року	Серпень 2021 року
№ 9	район вул. 23 Серпня, 34	4,05	3,82
№ 11	Центральний район, пров. Театральний, 6	3,01	3,36
№ 12	607 м/р, вул. Гв. Широнінців, 44	2,46	2,52
№ 13	район Іванівки, вул. Пащенківська, 4	4,88	4,86
№ 16	район Холодної гори, вул. Холодногірська, 42,55	4,43	4,35
№ 17	район Сокольників, перехрестя вул. Дерев'янка та Белгородського шосе	2,97	3,48
№ 18	район пр. Героїв Сталінграду,3	4,06	4,41
№ 19	район Салтівське шосе,120	2,19	1,81
№ 21	район Баварії, вул. Врубеля, 53	2,06	1,92
№ 24	район 15 міської лікарні, вул. Ак. Павлова, 46	2,92	2,77

Такі показники є типовими для великих індустріальних центрів із високою щільністю населення та розвиненою транспортною інфраструктурою. Серед основних забруднюючих речовин, що перевищували гранично допустимі концентрації відмічаємо діоксид азоту (NO₂) з перевищенням в 1,1–1,6 разів та формальдегід (CH₂O) з перевищенням в 1,1–1,6 разів.

Таким чином, у 2021 році стан повітря в Харкові можна охарактеризувати як стабільно помірно забруднений із локальними перевищеннями допустимих концентрацій окремих шкідливих речовин, що потребує подальшого системного контролю та впровадження заходів для зниження рівня антропогенного навантаження.

У 2022 та 2023 роках стан атмосферного повітря в місті Харкові зазнав істотних змін, пов'язаних з військовими діями, частковим зупиненням промисловості, обмеженням транспортної активності, а також впливом вибухів, пожеж та руйнування об'єктів критичної інфраструктури. Аналіз показників забруднення повітря здійснювався на основі даних Харківського регіонального центру з гідрометеорології, який продовжував роботу в умовах воєнного стану.

У 2022 році через повномасштабне вторгнення Російської Федерації та активні бойові дії на території Харківщини обсяги викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел значно зменшилися. Так, у порівнянні з 2021 роком, сумарна маса викидів в області скоротилася на понад 50 тисяч тонн і склала 23,2 тис. тонн. Найбільшу частку викидів становили сполуки сірки (31,72%), тверді суспендовані частинки (27,22%), оксид вуглецю (13,9%) та діоксид азоту (13,76%). Водночас, через військові обстріли, детонації, пожежі та аварійні викиди від знищеної інфраструктури в атмосферу потрапляли додаткові токсиканти, що не завжди підлягали регулярному контролю. Основними підприємствами-забруднювачами залишались Зміївська ТЕС, Харківська ТЕЦ-5, а також газовидобувні підприємства.

У 2023 році спостерігалася тенденція до стабілізації показників, а загальний рівень забруднення повітря був оцінений як низький. За офіційними даними, індекс забруднення атмосфери (ІЗА5) у Харкові становив 2,89, що свідчить про покращення якості повітря порівняно з довоєнними роками. Протягом року було відібрано понад 19 тисяч проб повітря, з яких лише 2,1% показали перевищення гранично допустимих концентрацій. Найбільше перевищень зафіксовано для пилу, діоксиду азоту, оксиду вуглецю, формальдегіду та сірководню. Серед основних джерел забруднення зберігалася активність теплоенергетичних об'єктів, таких як Зміївська ТЕС, Харківська ТЕЦ-5, а також пересувних джерел – переважно автотранспорту.

В обох роках значний вплив на якість повітря мали воєнні чинники: інтенсивні бойові дії, порушення ланцюгів постачання енергоносіїв, аварійні

відключення електропостачання, що призвело до використання генераторів і твердопаливних систем. Незважаючи на зниження загального рівня промислових викидів, екологічна ситуація залишалася напруженою та вимагала посиленого контролю за токсичними речовинами, які потрапляють в атмосферу внаслідок військової агресії. Враховуючи складну екологічну ситуацію та нестабільність джерел забруднення, моніторинг повітря в Харкові залишається одним із ключових напрямів екологічної безпеки міста в умовах війни.

У жовтні 2024 року відібрано та проаналізовано 3770 проб повітря (табл. 3.2.).

Таблиця 3.2.

Результати спостережень за вересень-жовтень 2024 рік

№ ПСЗ	Адреса	ІЗА5	
		Жовтень 2024 року	Вересень 2024 року
№ 9	район вул. 23 Серпня, 34	3,88	4,03
№ 11	Центральний район, пров. Театральний, 6	2,88	3,56
№ 12	607 м/р, вул. Гв. Широнінців, 44	2,60	3,02
№ 13	район Іванівки, вул. Пащенківська, 4	3,67	3,84
№ 16	район Холодної гори, вул. Холодногірська, 42,55	3,30	3,92
№ 17	район Сокольників, перехрестя вул. Дерев'янка та Белгородського шосе	3,69	3,64
№ 18	район пр. Героїв Сталінграду,3	3,10	3,49
№ 19	район Салтівське шосе,120	2,33	2,6
№ 21	район Баварії, вул. Врубеля, 53	2,09	2,5
№ 24	район 15 міської лікарні, вул. Ак. Павлова, 46	2,75	3,18

Спостереження проводилися щоденно, крім неділі. Максимальні концентрації не перевищували гранично допустимий норматив. Середньомісячні

концентрації перевищували відповідні середньодобові гранично допустимі концентрації по діоксиду азоту та формальдегіду в 1,1 рази.

За даними спостережень у жовтні 2024 року рівень забруднення повітря в м. Харкові за ІЗА5 становив 3,26 (у вересні 2024 року – 3,72) та характеризувався, як низький. Найбільш забрудненим виявився район вул. 23 Серпня, 34 (ПСЗ № 9) з індексом 3,88, а найменш забрудненим виявився район Баварії, вул. Врубеля, 53 (ПСЗ № 21) з індексом 2,09 [7].

3.3. Перспективи дослідження стану атмосферного повітря в м. Харків в умовах воєнних дій

В умовах повномасштабної війни питання якості атмосферного повітря набуває особливої актуальності, оскільки наслідки воєнних дій безпосередньо впливають на екологічну безпеку міста, здоров'я населення та довкілля. У місті Харкові, яке зазнає регулярних обстрілів, знищення інфраструктури, пожеж і вибухів, дослідження стану атмосферного повітря має значний науковий, прикладний та гуманітарний потенціал.

Розширення мережі моніторингу атмосферного повітря в місті Харкові є одним із ключових напрямів забезпечення екологічної безпеки в умовах воєнного конфлікту. Повномасштабна війна в Україні спричинила не лише руйнування об'єктів критичної інфраструктури, а й масштабне техногенне забруднення, що потребує оперативного, достовірного та локалізованого контролю повітряного середовища. У цьому контексті традиційна система спостережень, яка функціонувала в довоєнний період, виявилася недостатньою для своєчасного реагування на екологічні загрози нової природи.

Насамперед, виникла потреба у відновленні стаціонарних постів моніторингу, які постраждали внаслідок обстрілів або були знеструмлені, евакуйовані чи демонтовані з міркувань безпеки. Ці пости – такі як «ПОСТ-1» та «ПОСТ-2» у Харкові – є основним джерелом даних про якість повітря, але їхнє функціонування вимагає стабільного живлення, обслуговування, калібрування

та захисту від фізичного знищення. Тому одним з першочергових завдань є модернізація залишених станцій: встановлення захисних кожухів, резервного енергозабезпечення, підключення до захищених серверів та хмарних платформ для дублювання даних у режимі реального часу.

Другим напрямом є розгортання мобільних екологічних лабораторій або портативних станцій моніторингу. Такі пристрої можуть встановлюватися на автомобілях, дронах або переноситися вручну. Вони дозволяють швидко реагувати на аварійні ситуації – вибухи, пожежі, викиди зі зруйнованих складів хімікатів, – особливо в районах, де неможливо розмістити стаціонарні прилади. Мобільні модулі можуть забезпечити як оперативну фіксацію основних параметрів повітря (NO_2 , CO , SO_2 , O_3 , пил $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2.5}$), так і зразки для подальшого лабораторного аналізу на складні органічні та токсичні сполуки (діоксини, важкі метали, леткі органічні речовини).

Крім того, важливим напрямом є залучення громадського моніторингу та інтеграція даних із незалежних джерел. У Харкові та інших містах України вже діють приватні ініціативи зі встановлення *low-cost* сенсорів (наприклад, PurpleAir, Luftdaten, EcoCity), які дають змогу фіксувати показники запиленості або концентрації окремих речовин із доступом до результатів через мобільні додатки або онлайн-карти. Хоча ці сенсори не мають точності державних лабораторій, вони значно підвищують просторове покриття і дозволяють виявити локальні пікові забруднення.

В межах розширення мережі також необхідно передбачити створення спеціалізованих зон моніторингу навколо об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, таких як склади боєприпасів, військові бази, місця утилізації вибухонебезпечних предметів, об'єкти хімічної та нафтогазової інфраструктури. Саме з цих територій надходить найбільше неконтрольованих викидів у період активних бойових дій, і саме тут необхідний особливо чутливий та високочастотний контроль забруднювачів.

овномасштабна війна на території України, зокрема на Харківщині, висунула нові виклики у сфері охорони атмосферного повітря. На відміну від традиційних умов мирного часу, коли головними джерелами забруднення виступають промисловість, енергетика та автотранспорт, під час воєнних дій в атмосферу потрапляє цілий спектр нових, нетипових для довоєнного моніторингу речовин. У зв'язку з цим постала нагальна потреба в оцінці нових типів забруднень, які виникають унаслідок бойових дій, вибухів, пожеж, горіння боєприпасів, руйнування об'єктів інфраструктури, складів хімічних речовин, пального тощо.

Насамперед, до нових типів забруднень відносяться військові токсиканти – речовини, які утворюються в результаті згоряння вибухових речовин, металевих оболонок снарядів, пластиків, горючих матеріалів, паливно-мастильних речовин. В атмосферу можуть потрапляти важкі метали (свинець, кадмій, ртуть, миш'як), отруйні гази (ціаністий водень, фосген), а також канцерогенні продукти горіння, зокрема поліароматичні вуглеводні (ПАВ) та діоксини – надзвичайно токсичні речовини навіть у мізерних концентраціях. Такі сполуки практично не розкладаються в природі, мають здатність накопичуватись у живих організмах і викликають мутації, порушення імунітету та онкологічні захворювання.

Особливої уваги заслуговує забруднення повітря леткими органічними сполуками (ЛОС) – толуолом, бензолом, ксилолом, які часто містяться у паливі, лаках, фарбах, пластиках, що горять під час обстрілів житлових будинків, автотранспорту, складів. ЛОС викликають подразнення дихальних шляхів, ураження нервової системи, є відомими канцерогенами. Їхня присутність у повітрі навіть у низьких концентраціях несе суттєву загрозу, особливо для дітей і людей із хронічними захворюваннями.

Інший важливий тип забруднень – аміак (NH_3). Унаслідок вибухів на підприємствах хімічної промисловості, агропромислових складах або місцях зберігання мінеральних добрив можливі аварійні викиди аміаку, який має

токсичну дію при вдиханні, спричиняє хімічні опіки слизових оболонок, асфіксію, подразнення очей та органів дихання.

Крім того, під час вибухів боєприпасів в атмосферу можуть викидатися сполуки фосфору, нітратів, перхлоратів, а також нановолокна, азбестові частинки, що мають тривалий канцерогенний вплив. Часто такі речовини не контролюються в рамках стандартних програм моніторингу, оскільки не входять до переліку пріоритетних забруднювачів мирного часу.

Актуальним завданням є адаптація існуючих методів спостереження до нових умов. Це включає оновлення списку цільових домішок, запровадження високочутливих методик виявлення органічних і неорганічних токсикантів (газова хроматографія, спектрофотометрія, мас-спектрометрія), розширення лабораторних можливостей щодо аналізу проб після вибухів та пожеж. Доцільно також створювати експрес-набори для оперативного визначення в польових умовах рівня ПАВ, ЛОС та бойових реагентів, особливо в зонах активних бойових дій.

У перспективі необхідна інтеграція результатів оцінки нових забруднень до національних баз даних, відкритий доступ до інформації про реальні ризики для здоров'я населення та довкілля, а також розроблення національних протоколів реагування на військово-екологічні інциденти.

Моделювання розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі є одним із найважливіших напрямів екологічного моніторингу, особливо в умовах надзвичайних ситуацій, зокрема війни. Такий підхід дозволяє не лише фіксувати фактичні концентрації домішок у повітрі, а й прогнозувати просторово-часове розповсюдження шкідливих речовин після вибухів, пожеж, хімічних аварій або руйнування інфраструктурних об'єктів.

У воєнних умовах, зокрема у місті Харкові, де систематично фіксуються ракетні удари, масові пожежі на промислових об'єктах, вибухи складів пального та боєприпасів, моделювання забруднення повітря є критично важливим інструментом для оперативного реагування та інформування населення.

Виникнення хмар небезпечних речовин, що здатні переміщуватися на десятки кілометрів, потребує чіткого розуміння їхнього потенційного впливу на різні райони міста та області. Завдяки моделям поширення можна своєчасно ідентифікувати зони ризику, провести евакуацію, обмежити перебування людей на відкритому повітрі та підготувати рекомендації для медичних служб.

Сучасне моделювання базується на застосуванні математичних, фізико-хімічних та геоінформаційних моделей, які враховують різні метеорологічні, геоморфологічні та антропогенні чинники. До основних параметрів, які впливають на розсіювання забруднювачів, належать: швидкість і напрям вітру, температура повітря, атмосферна стабільність, висота джерела викиду, тип забруднюючої речовини, вологість, наявність перешкод у рельєфі (наприклад, забудова).

Одними з найпоширеніших моделей є Gaussian Plume Model, AERMOD, CALPUFF, які широко застосовуються у США, країнах ЄС та рекомендовані ВООЗ. В Україні також проводяться роботи із впровадження прогностичних ГІС-моделей, зокрема на основі даних з метеостанцій, супутникових знімків та результатів польових вимірювань. Такі моделі здатні в реальному часі показувати потенційне розповсюдження речовин у вигляді цифрових карт, які відображають зони високої концентрації, напрям руху хмари забруднення та динаміку її зміни.

Особливо перспективним є застосування ГІС-технологій (геоінформаційних систем) у поєднанні з дистанційним зондуванням Землі (ДЗЗ), які дозволяють виявляти осередки забруднення навіть за умов обмеженого доступу до територій. Супутникові платформи, як-от Sentinel-5P, MODIS, можуть фіксувати концентрації озону, діоксиду азоту, чадного газу, твердих частинок PM_{2.5} у масштабах міста та області. Ці дані інтегруються в екологічні моделі, що дозволяє будувати прогностичні карти та аналізувати екологічну ситуацію в динаміці.

Окрему роль відіграє моделювання сценаріїв розповсюдження забруднень після цілеспрямованих або випадкових руйнувань індустріальних об'єктів – нафтобаз, хімічних заводів, ТЕЦ, каналізаційно-насосних станцій. У таких випадках створюються екстрені сценарні моделі, які враховують кількість речовини, що потрапила в повітря, потенційну токсичність, прогнозовані метеоумови. Це дозволяє сформувати науково обґрунтовані дії для цивільного захисту.

У контексті збройної агресії проти України міжнародна співпраця в екологічній сфері, зокрема у сфері моніторингу атмосферного повітря, стала не лише бажаним напрямом розвитку, а й критичною потребою. Харків як прифронтове місто, що зазнає регулярних атак, опинився в епіцентрі нових викликів, пов'язаних із викидами токсичних речовин, знищенням природного середовища та техногенними катастрофами. У таких умовах координація з міжнародними структурами, доступ до передових технологій, обмін даними та впровадження європейських екологічних стандартів стають важливими інструментами захисту довкілля та здоров'я населення.

Одним із пріоритетних аспектів є участь України у глобальних ініціативах з екологічного моніторингу. Зокрема, Україна є стороною Конвенції ЄЕК ООН про транскордонне забруднення повітря на великі відстані (CLRTAP), яка передбачає міжнародний обмін інформацією про забруднювальні речовини, їхні джерела, трансграничні переміщення та заходи з їх скорочення. Така участь дозволяє не лише отримувати підтримку, а й інтегрувати українські екологічні дані в загальноєвропейські бази. У майбутньому це створить основу для екологічної відповідальності держав-агресорів.

Ще одним прикладом є доступ до даних системи Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS), яка надає відкриту інформацію про стан атмосфери на основі супутникового зондування, моделей і наземних спостережень. Дані CAMS можуть бути використані для аналізу ситуації в Харкові: фіксація хмар забруднення, зміна концентрацій PM_{2.5}, NO₂, CO та інших речовин після вибухів або пожеж, створення історичних рядів спостережень. Такі сервіси вже

інтегруються у практику українських екологів, науковців і волонтерських проєктів.

Крім цього, Україна має можливість розширювати співпрацю в рамках європейських програм підтримки та реконструкції: Horizon Europe, LIFE, EU4Environment. Завдяки їм можуть фінансуватись проєкти з розгортання нових моніторингових станцій, розробки цифрових платформ обміну даними, підтримки лабораторій, навчання персоналу, а також закупівлі сучасного аналітичного обладнання. Окрема увага може бути приділена створенню спільних центрів оцінки впливу воєнних дій на екосистеми.

Особливо перспективним напрямом є інтеграція в Європейську систему якості повітря (Air Quality e-Reporting) відповідно до директив ЄС, яка передбачає гармонізацію методів вимірювання, стандартизацію показників, відкритий доступ громадськості до результатів. Для Харкова це означає можливість встановлення європейських станцій спостереження, каліброваних за загальноєвропейськими нормами, і публікацію даних у форматах, які дозволяють міжнародне порівняння.

Важливим елементом є також цифровізація і відкритість екологічної інформації. Сучасні платформи, такі як OpenAQ, Luftdaten, PurpleAir, дозволяють поєднувати дані з офіційних і неофіційних джерел, створювати інтерактивні карти, проводити глибокий аналіз даних, використовувати машинне навчання для прогнозів. Харківські активісти, екологи й науковці вже використовують подібні інструменти для інформування населення і документування екологічних злочинів.

Таким чином, міжнародна співпраця та відкритий доступ до екологічних даних є не просто допомогою Україні в кризовий період, а складовою нового екологічного порядку денного. Вона сприяє адаптації до сучасних викликів, підтримці європейського вектору розвитку, формуванню нових стандартів екологічної безпеки в умовах війни. Для Харкова це шлях до побудови сталого та захищеного міського середовища навіть за найскладніших обставин.

ВИСНОВКИ

Результатом роботи є наступні висновки:

1. Проведений аналіз засвідчив, що система моніторингу атмосферного повітря в Україні базується на законодавчо визначених принципах, які встановлюють обов'язки держави щодо охорони атмосферного повітря. Закон «Про охорону атмосферного повітря», Конституція України, інші нормативні документи (постанови Кабінету Міністрів, санітарні норми тощо) формують законодавчу основу, яка є узгодженою з європейськими підходами. Однак у контексті воєнних дій система потребує адаптації, зокрема шляхом включення до моніторингу нових типів забруднень (військові токсиканти, продукти вибухів) і розширення каналів збору інформації, включаючи геоінформаційні технології та громадський моніторинг.

2. В межах роботи було виявлено зміщення акценту з традиційних джерел (ТЕЦ, промислові підприємства, автотранспорт) до нових, пов'язаних із бойовими діями. Значний вплив мають пожежі, вибухи, руйнування інфраструктури, несанкціоноване спалювання відходів, а також використання військової техніки. У місті фіксуються викиди діоксиду азоту, формальдегіду, летких органічних сполук, поліароматичних вуглеводнів, ПМ2.5 і ПМ10, а також важких металів і продуктів горіння озброєння. Ці джерела створюють нові виклики для моніторингу, що вимагає зміни як технічних, так і нормативних підходів.

3. Аналіз даних Харківського гідрометеоцентру показав зростання рівнів забруднення повітря у 2022–2023 роках порівняно з 2021 роком. Показник ІЗА5 свідчив про низький, але стійкий рівень забруднення, із домінуванням таких речовин, як діоксид азоту та формальдегід. Найбільш забрудненими виявилися райони, що зазнавали частих обстрілів або мають промислову специфіку. У 2024 році простежується тенденція до часткового зменшення концентрацій, що, ймовірно, пов'язано із сезонністю, зменшенням активних бойових дій у місті або корекцією обсягів моніторингу. Водночас наявні дані не

завжди є достатніми, що свідчить про необхідність їхньої деталізації та розширення мережі постів спостереження.

4. У дослідженні визначено ключові напрями подальшого розвитку системи моніторингу: розширення технічної інфраструктури (створення нових автоматизованих постів), оцінка нових типів забруднюючих речовин (військового походження), використання цифрових технологій для моделювання поширення викидів, а також розширення міжнародної співпраці та відкриття даних для громадськості. Особливої уваги потребують методи оперативного реагування, інтеграція з геоінформаційними платформами та участь у глобальних ініціативах екологічної безпеки. Такі заходи є запорукою формування дієвої політики екологічного відновлення міста в післявоєнний період.

Отже, проведене дослідження підтвердило, що моніторинг якості атмосферного повітря в умовах збройного конфлікту є надзвичайно важливим елементом екологічної безпеки, особливо для таких міст, як Харків, що зазнали масштабного техногенного впливу. Унаслідок руйнування інфраструктури, активних бойових дій і змін у системі життєзабезпечення міста суттєво трансформувалися як джерела забруднення, так і характер забруднюючих речовин. У цих умовах традиційні підходи до спостереження за станом повітря виявилися недостатніми, що обумовлює потребу у вдосконаленні нормативної бази, технічного забезпечення моніторингу та методів аналізу. Результати дослідження довели доцільність впровадження комплексної стратегії контролю за якістю повітря, яка поєднує інструментальні методи, супутниковий моніторинг, краудсорсингові ініціативи та моделювання. Водночас досвід міжнародних практик показав ефективність відкритих даних і міждержавного співробітництва як ключових засобів забезпечення прозорості та наукової достовірності результатів. У перспективі, впровадження системного підходу до моніторингу повітря у Харкові дозволить не лише оперативно реагувати на

загрози, а й сформувати науково обґрунтовану політику екологічної відбудови, адаптовану до нових умов післявоєнного періоду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Божко К., Морозова І. Нечітка модель дисперсного складу твердих часток для оцінювання запиленості атмосферного повітря. – 2022. № 3. – С. 27–35. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2022-71-3-4>
2. Геоматика в моніторингу довкілля та оцінці загрозливих ситуацій: монографія / [О. Л. Дорожинський та ін.]; за ред. проф. Олександра Дорожинського ; Нац. ун – т "Львів. політехніка". – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2016. – 399 с.
3. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру. Щорічний звіт про стан забруднення атмосферного повітря в Україні за 2023 рік. Київ : Держгеокадастр, 2024. 112 с.
4. Дистанційні методи моніторингу довкілля: навч. посібник / О. І. Бондар та ін. ; під ред. О. І. Бондаря та П. Я. Унгуряна ; Держ. закл. "Держ. екол. акад. післядиплом. освіти та упр.". – Київ: ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. – 297 с.
5. Конституція України : офіц. текст. – Київ : Парлам. вид-во, 2019. – 92 с.
6. Конституція України : офіц. текст : станом на 1 січ. 2024 р. – Київ : Парлам. вид-во, 2024. – 92 с. – Ст. 50.
7. Міжнародне право навколишнього середовища: стан та перспективи розвитку : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 23-24 вересня 2010 р., м. Київ. Київ : Обрії, 2010. 213 с.
8. Попов О. О. Математичне та комп'ютерне моделювання техногенних навантажень на атмосферу міста від стаціонарних точкових джерел забруднення [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук : 01.05.02 / О. О. Попов ; [Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України]. – К., 2010. – 20 с.
9. Про охорону атмосферного повітря : Закон України від 16 жовт. 1992 р. № 2707-ХІІ (в ред. від 2001 р.) // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 50. – Ст. 678.

10. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25 червня 1991 р. № 1264-XII // Відомості Верховної Ради України. – 1991. – № 41. – Ст. 546.

11. Про державну систему моніторингу довкілля: Закон України від 25 червня 2003 р. № 962-IV // Відомості Верховної Ради України. – 2003. – № 37. – Ст. 308.

12. Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря : постанова Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 827 // Офіційний вісник України. – 2019. – № 65. – Ст. 2273.

13. Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу довкілля : постанова Кабінету Міністрів України від 13 березня 2002 р. № 271 // Офіційний вісник України. – 2002. – № 11. – Ст. 489.

14. Про затвердження Положення про здійснення державного моніторингу атмосферного повітря : наказ Міндовкілля України від 22 верес. 2020 р. № 309 // Офіційний вісник України. – 2020. – № 85.

15. Снок А., Хрутьба В. Якість атмосферного повітря в Україні до і під час повномасштабного вторгнення. Міжнародний фонд відродження. Київ, 2023. С. 5–24. 4.

16. Теребух А. А., Паньків Н. Є. Актуальні питання екологічної безпеки в умовах ескалації російсько-української війни. Колективна монографія. Київ, 2022. С. 491–496.

17. Харківська обласна військова (державна) адміністрація. Департамент захисту довкілля та природокористування. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Харківській області у 2022 році. Харків, 2023. С. 192.

18. Яцишин А.В. Комп'ютерні засоби прогнозування техногенних навантажень на атмосферу / А.В. Яцишин, О.О. Попов, В.О. Артемчук // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2009. – Вип. 5/2 (41). – С. 33–36.

19. Ангурець О., Хазан П., Колесникова К. Управління якістю атмосферного повітря: від концепції до впровадження: Звіт за результатами досліджень / у редакції М. Сороки. Прага-Київ: Арніка, 2021. 52 с.

20. Верховна Рада України. Інформаційно-телекомунікаційна система «Законодавство України» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://itd.rada.gov.ua> (дата звернення: 06.06.2025).

21. Громадський моніторинг повітря: що це та для чого потрібен – Екоклуб – природоохоронна громадська організація. Екоклуб – Офіційний сайт громадської організації «Екоклуб» (м. Рівне). URL: https://ecoclubrivne.org/public_monitoring/ (дата звернення: 07.05.2024).

22. Громадський моніторинг якості повітря: переваги та процедура інтеграції в існуючу моніторингову систему Журнал ECOBUSINESS. Журнал ECOBUSINESS. Екологія підприємства ecolog-ua.com. URL: <https://v.gd/c7JYxF> (дата звернення: 03.05.2024).

23. Державна екологічна інспекція України. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.dei.gov.ua/posts/2408> (дата звернення: 06.06.2025).

24. ЕкоЗагроза. Національна платформа екологічної безпеки України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecozagroza.gov.ua> (дата звернення: 06.06.2025).

25. Екологічний податок: за січень-вересень 2023 року суб'єктами господарювання регіону сплачено 56,2 млн гривень. od.tax.gov.ua. URL: <https://od.tax.gov.ua/media-ark/news-ark/719137.html> (дата звернення: 11.05.2024).

26. Експрес-інформація. Статистичні дані щодо викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення. [Електронний ресурс]. – 2020. Режим доступу до ресурсу: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 06.06.2025).

27. Забруднення повітря в Україні – погляд з космосу : навч. посіб. Прага - Київ, 2020. 37 с. URL: <https://v.gd/QEx8An> (дата звернення: 01.05.2024).

28. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року». Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення 06.06.2025).

29. Кольцов М., Шевченко Л. Моніторинг якості атмосферного повітря: український та міжнародний досвід : аналіт. записка. Київ : ГО «Фундація «Відкрите Сусп-во», 2018. 13 с.

30. Конвенція про доступ до інформації, участь громадськості в процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля (Орхуська конвенція), від 25 черв. 1998 р. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_015 (дата звернення: 06.06.2025).

31. Моніторинг забруднення повітря на території України. Застосунок SaveEcoBot. Режим доступу: <https://www.saveecobot.com/maps/kharkiv> (дата звернення 06.06.2025).

32. Основні екологічні проблеми людства, їх глобальний характер та суть. URL:<https://osvita.ua/vnz/reports/bjd/23700/> (дата звернення: 08.05.2024).

33. Повітря під час війни. чому важливо моніторити забруднення та розповідати про це. URL: <https://is.gd/42T8Oh> (дата звернення: 03.05.2024).

34. Постанова Верховної Ради України від 5 березня 1998 року № 188/98 ВР «Про основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки».

35. Стаднік В. Поточна ситуація у сфері екомоніторингу у країнах ЄС, США та в Україні. XVIII Всеукраїнської наукової on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології» : Тези, м. Житомир, 6 жовт. 2022 р. С. 55–56.

36. Створення ефективної системи моніторингу довкілля в Україні: проблеми і шляхи їх вирішення". Національний інститут стратегічних досліджень. Аналітична записка. URL: <http://old2.niss.gov.ua/articles/2054/>.

37. Технічна підтримка громадського моніторингу повітря: від кількості до якості – Все про повітря. Все про повітря. URL: <https://cleanair.org.ua/5802/techpidtrymka/> (дата звернення: 12.05.2024).

38. Токар М. До питання проблем міжнародного іміджу сучасних українських громадських організацій. Геополітика України: історія і сучасність. 2020. № 1(24). С. 65–73. doi.org/10.24144/2078-1431.2020.1(24).65-73

39. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їх державами-членами, з іншої сторони, від 27 черв. 2014 р. – URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011 (дата звернення: 06.06.2024).

40. Arfire A. Enhancing Measurement Quality Through Active Sampling In Mobile Air Quality Monitoring Sensor Networks / A. Arfire, A. Marjovi, A. Martinoli // Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (Banff, Canada, July 12–15, 2016). – 2016. – pp. 313–321.

41. Castell N. Mobile technologies and services for environmental monitoring: The Citi-Sense-MOB approach / N. Castell, M. Kobernus, H.-Y. Liu, P. Schneider, W. Lahoz, A.J. Berre, J. Noll // Urban Climate. – 2015. – Vop. 14, Part 3. – pp. 370–382.

42. Iatsyshyn A.V. The Methodology of Future Specialists Teaching in Ecology Using Methods and Means of Environmental Monitoring of the Atmosphere's Surface Layer / A.V. Iatsyshyn, O.O. Popov, V.O. Kovach, V.O. Artemchuk // Journal of Information Technologies in Education. – 2018. – Iss. 66, No 4. – pp. 217–230.

43. Iatsyshyn A.V. The Principles and Methods of Ecological Safety Management Through the Data of Air Monitoring Network Analysis / A.V. Iatsyshyn, Yu.G. Kutsan, V.O. Artemchuk, I.P. Kameneva, O.O. Popov, V.O. Kovach // Elektronne modelyuvannya. – 2019. – Vol. 41, No. 4. – pp. 85–101.

44. Kang L. A Public Transport Bus as a Flexible Mobile Smart Environment Sensing Platform for IoT / L. Kang, S.Poslad, W. Wang, X.Li, Y. Zhang, C. Wang //

Proceedings of the 2016 12th International Conference on Intelligent Environments (London, UK, September 14-16, 2016). – 2016. – pp. 1–8.

45. Lancia G. A Facility Location Model for Air Pollution Detection / G.Lancia, F. Rinaldi, P. Serafini // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2018. – pp. 1–8.

46. Liu L. A Fault-Tolerant Mobile Sensing Information Gathering Center (MSIGC) Using Public Transport Buses to Instrument a Smart City / L. Liu, J. Duan, Z. Xiao, C. Wang, X. Li // *Proceedings of the 2017 9th International Conference on Advanced Infocomm Technology (Chengdu, China, November 22–24, 2017)*. – 2017. – pp. 233–238.

47. Raju H.P. Urban Mobile Air Quality Monitoring Using GIS, GPS, Sensors and Internet / H.P. Raju, P. Partheeban, R.R. Hemamalini // *International Journal of Environmental Science and Development*. – 2012. – Vol. 3, No. 4. – pp. 323–327.

48. About ECSA – european citizen science association (ECSA). European Citizen Science Association (ECSA) – Engage with us. URL: <https://www.ecsa.ngo/ecsa/> (date of access: 10.05.2024).

49. About Air Monitoring: веб-сайт. URL: <https://floridadep.gov/air/air-monitoring/content/about-air-monitoring> (дата звернення: 09.02.2023).

50. Atmospheric environment monitoring technology and equipment in China: A review and outlook: веб-сайт. URL: <https://www.sciencedirect.com/> (дата звернення: 08.02.2023).

51. Atmospheric pollution monitoring and forecasting network: веб-сайт. URL: <https://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/en/qualitat-de-laire/com-es-lluita-contra-lacontaminacio/atmospheric-pollution-monitoring-and> (дата звернення: 09.02.2023).

52. Eco-City. Громадський моніторинг стану якості повітря. URL: <https://eco-city.org.ua/faq> (date of access: 06.09.2024).

53. European air quality index. European Air Quality Index. URL: <http://airindex.eea.europa.eu/> (date of access: 09.05.2024).

54. European Environment Agency. Urban air quality data viewer [Electronic resource]. – Available at: <https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/3b390c9c-f321-490a-b25a-ae93b2ed80c1> (date of access: 09.05.2024).

55. Netzwerk Cellulosenitrat. Rundbrief fotografie. 2022. Vol. 29, no. 3-4. P. 62—63. URL: <https://doi.org/10.1515/rbf-2022-3009> (date of access: 03.05.2024).

56. Novikova A., Velisevich M., Pospishna O. Definition and measurement quality criterias of public passenger transport service according to the European Union experience. *Avtoshliakhovyk ukrayiny*. 2021. Vol. 1, no. 265. P. 2–11. <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2021-1-265-2-11>(date of access: 02.02.2024).

57. Managing Air Quality – Ambient Air Monitoring: веб-сайт. URL: <https://www.epa.gov/air-quality-management-process/managing-air-quality-ambient-air-monitoring>.

58. Savenets M. V., Osadchyi V. I., Oreshchenko A. V. Atmospheric air quality monitoring over the territory of Ukraine with specification over the cities using Sentinel-5P satellite data. *Visnik Nacional'noi' akademii' nauk Ukraini*. 2021. No. 03. P. 50–58. <https://doi.org/10.15407/visn2021.03.050>

59. Who we are. European Environment Agency's home page. URL:<https://www.eea.europa.eu/en/about/who-we-are> (date of access: 04.01.2024).