

В.П. Халін, О.С. Ломакіна

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ

Мета – дослідження забруднення атмосфери на території України протягом останніх років. Проаналізовано відкриті статистичні дані щодо викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Встановлено, що спостерігається скорочення їх загальних обсягів. Побудовано карти просторового розподілу рівня забруднення атмосферного повітря за комплексним індексом забруднення атмосферного повітря міст України в 2020-2023 р.р. та охарактеризовано отримані результати.

Ключові слова: викиди забруднюючих речовин, рівень забруднення атмосфери, просторовий аналіз довкілля.

Постановка проблеми

Проблема забруднення атмосферного повітря є однією з актуальних проблем сучасності. Майже все населення світу дихає повітрям, яке містить високі рівні забруднюючих речовин та перевищує норми, встановлені ВООЗ. Найбільший негативний вплив відчувають країни з низьким та середнім рівнем доходу [1].

Забруднення атмосферного повітря в першу чергу чинить негативний вплив на здоров'я населення, тому необхідність моніторингу вмісту забруднюючих речовин в атмосферному повітрі та аналізу рівня його забруднення є одними з основних завдань із захисту довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Фахівці детально досліджують проблеми забруднення атмосферного повітря в Україні. Цим питанням присвячено значну кількість наукових досліджень.

Більшість робіт вітчизняних вчених зосереджено на аналізі стану атмосферного повітря та його забруднення як окремими домішками, так і декількома забруднюючими речовинами. В дослідженні Ю. Яценко, О. Шевченко, С. Сніжко [2] оцінено сучасні рівні забруднення атмосферного повітря України діоксидом азоту, встановлено групи міст з різним ступенем забруднення. А. О. Бургаз та В. О. Гуляк [3] дослідили питання просторового розподілу формальдегіду в атмосферному повітрі м. Одеса. І. В. Бодак, К. В. Дядечко [4] розглянули сезонні та добові варіації вмісту дрібнодисперсного пилу $PM_{2.5}$ в м. Харків та встановили чинники, що впливають на них. В роботі Н. М. Грінчишин [5] наведено результати оцінки якості атмосферного повітря за вмістом $PM_{2.5}$ з оцінкою ризику для здоров'я населення в умовах карантину та воєнного

стану в Україні. М. В. Савенець, І. В. Дворецька, Л. М. Надточій [6] проаналізували просторово-часові закономірності розподілу діоксидів азоту та сірки, оксиду вуглецю та формальдегіду над територією України у 2018-2019 р.р., визначили чинники впливу та встановили особливості забруднення морських акваторій. Л. І. Давибіда та І. І. Базюк в своїй роботі [7] визначили просторовий розподіл середньомісячних значень щільності діоксидів азоту й сірки та оксиду вуглецю на території України у 2021-2022 р.р. та регіональні просторово-часові зміни забруднення атмосфери цими речовинами. Автори зазначають, що в цей період має місце перерозподіл рівня забруднення – зростання у західних областях та зниження у центральних і східних, що обумовлено впливом російської воєнної агресії та вимушеним переселенням населення. В дослідженні В. Б. Мокіна, Є. М. Крижановського, А. В. Піроговського [8] здійснено просторовий аналіз даних забруднення атмосферного повітря в Вінницькій області.

Слід зазначити, що останнім часом все більша кількість досліджень українських науковців містить результати просторового аналізу даних забруднення атмосферного повітря [3,6,7,8]. В якості вихідних даних для просторового аналізу використовуються дані державного моніторингу [3,8] та відкриті супутникові дані [6,7].

Аналіз закордонного досвіду просторового аналізу даних забруднення атмосферного повітря є надзвичайно важливим, він дозволяє застосовувати передові методи та технології, які вже довели свою ефективність в інших країнах. Обмін дослідженнями та інноваційні світові дослідження відкривають можливості для впровадження сучасних інструментів, таких як супутниковий моніторинг, машинне навчання та штучний інтелект, що

дозволяє точніше прогнозувати рівні забруднення та виявляти закономірності у великих наборах даних. Це дає змогу адаптувати найкращі практики управління якістю повітря до національних реалій. Багато країн мають схожі проблеми, пов'язані з впливом негативних факторів, тому рішення, успішно реалізовані за кордоном, можуть бути використані як базові моделі для розробки національних стратегій. Величезний досвід, допомагає уникнути помилок, які вже були зроблені іншими країнами, що значно пришвидшує процес розв'язання проблем. Це також сприяє розвитку міжнародної співпраці та обміну даними, що особливо важливо в контексті глобальних екологічних викликів, таких як зміна клімату. Отже, просторовий аналіз забруднення повітря є невід'ємною частиною розробки ефективних рішень для покращення екологічної ситуації та збереження здоров'я населення.

Автори у [9] при дослідженні питань збереження біорізноманіття зазначають, що саме супутникове дистанційне зондування є важливим інструментом для моніторингу біорізноманіття та пов'язаних параметрів довкілля. При цьому, супутникові дані недостатньо широко використовуються дослідниками та природоохоронними організаціями. На корисність цих даних для відстеження та аналізу змін біорізноманіття значною мірою впливають три ключові фактори: безперервність надходження даних, їх доступність і можливість отримання доступу до них.

У дослідженні [10] автори звертають увагу на важливість певного рівня технічної підготовки кінцевих користувачів даних, а саме, практичні навички застосування супутникових даних для моніторингу якості повітря, знання про можливості супутників для вимірювання забруднювачів, обізнаність про доступні ресурси для отримання, обробки та візуалізації даних, що часто створює труднощі для агентств з контролю якості повітря, які мають обмежені ресурси.

Особливої важливості набувають дослідження [11] в яких надані рекомендації, саме для країн із розвиненими GLM щодо того, як інтегрувати супутникові спостереження в моніторинг PM_{2.5} і в яких випадках супутникові методи можуть бути менш ефективними. Автори [11], спираючись на наземні вимірювання, оцінюють ефективність двох підходів, у дев'яти містах країн з низьким і середнім рівнем доходу. За певних умов додавання супутникових даних до наземних мереж моніторингу (GLM) може скоротити кількість GLM, необхідних для точного визначення рівня PM_{2.5} у місті, але це потребує індивідуального аналізу для кожного конкретного випадку.

У дослідженні [12] аналізуються характеристики різних супутників спостереження за Землею, які наразі надають глобальні дані про стан атмосфери. Досліджено закономірності глобальних атмосферних змін на основі статистичного та порівняльного аналізу тривалих спостережень. Вивчаються просторово-часові зміни атмосферних параметрів для глибшого кількісного розуміння статистичних взаємозв'язків. Авторами пропонуються перспективи майбутніх розробок, для кращого розуміння атмосферних процесів та кліматичних взаємодій, які з ними пов'язані.

У дослідженні [13] авторами проведено аналіз потенційного використання супутникових датчиків MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) для вивчення якості повітря в окремих регіонах Азії. Використовуючи прості та множинні регресійні моделі, проаналізовано оптичну товщину аерозолів MODIS, метеорологічні дані глобального реаналізу NCEP та щоденні приземні концентрації PM₁₀ у Китаї та Таїланді. Кореляція між AOT і PM₁₀ показала суттєві сезонні та регіональні відмінності. Дослідники представили простий метод використання супутникових даних для емпіричного прогнозування приземного забруднення твердими частинками. Цей метод був оцінений на основі ретроспективних прогнозів PM₁₀, використовуючи дані спостережень для отримання коефіцієнтів моделі. Цей метод може бути легко адаптований для використання в інших регіонах, хоча найкраще підходить для тих, де є розгалужена мережа наземного моніторингу або відсутній доступ до складних детермінованих моделей. Потрібні подальші дослідження, щоб забезпечити ширше використання супутникових даних в оперативному моніторингу та прогнозуванні якості повітря.

Моніторинг повітряних забруднювачів за допомогою супутникових даних суттєво покращився за останні кілька десятиліть, що дозволяє глибше аналізувати вплив людської діяльності на якість повітря. Для кращого розуміння екологічних умов на основі мультипроксі-підходу, на прикладі Північної Африки у [14] було проведене спостереження та вимірювання NO₂. Мультипроксі-підхід поєднує супутникові спостереження, хімічний і біологічний аналіз, а також дані, отримані під час польових робіт. Досліджуваний регіон має багато джерел викидів NO₂. Аналіз мультикліматичних наборів даних показав, що підвищення температури супроводжується зменшенням кількості опадів, що підтверджує наявність кліматичних змін. У зв'язку з цим в дослідженні представлені рекомендації щодо зменшення викидів оксидів азоту та досягнення нульового рівня викидів.

Приведені у дослідженні [15] результати спостереження трендів приповерхневої температури вказують на значні відмінності між сушею та океаном. Автори зазначають про доцільність використання надійних даних про температуру тропосфери та температуру поверхні океану в дослідженнях чутливості клімату.

Дослідження небезпечних для життя та здоров'я людей речовин у повітрі є актуальними. У [16] представлено результати вимірювання концентрацій PM10, PM2,5, а також SO₂, NO, NO_x і O₃, проведені за допомогою мобільної лабораторії на території Сілезького технологічного університету. Моніторинг навколишнього середовища, включаючи спостереження за небезпечними речовинами, є важливим профілактичним заходом, який дозволяє виявити існуючі небезпеки та визначити подальші дії, спрямовані на покращення стану навколишнього середовища.

У дослідженні [17] авторами використовувалася тривимірна система моніторингу атмосфери в реальному часі (3DREAMS) для отримання вертикальних профілів коефіцієнтів зворотного розсіювання аерозолів і вітру протягом трьох років (2019–2021), а також пристрій DustTrak для опису та аналізу характеристик аерозолів у верхній частині ABL, наприкладі густонаселеного міста Гонконг (Китай). Це перше дослідження, яке оцінює довгострокові записи та просторові коливання аерозолів у верхньому шарі в місті з високою щільністю за допомогою мережі LiDAR. Результати досліджень та аналіз одного з епізодів чітко показав здатність 3DREAMS здійснювати моніторинг транскордонного забруднення повітря, надаючи детальну інформацію про горизонтальний перенос і вертикальну конвекцію. Отже, 3DREAMS підтверджує свою ефективність як система для моніторингу транскордонного забруднення повітря.

Оцінка забруднення повітря є важливим елементом у процесі планування та контролю в мегаполісах. У дослідженні [18] авторами був розроблений новий комплексний підхід до моніторингу та оцінки забруднення повітря, який включає три основні етапи: оптимізацію існуючої мережі станцій моніторингу забруднювачів, розміщення нових станцій для забезпечення повного охоплення та створення карти забруднення повітря.

На першому етапі для визначення менш інформативних станцій, які можуть бути видалені, було використано інформаційний індекс Шеннона. Далі була запропонована методологія для виявлення територій, що недостатньо охоплені існуючою мережею, які стали кандидатами на створення нових станцій моніторингу. Актуальна мережа моніторингу забруднення повітря в Тегерані стала

предметом дослідження. Основними забруднювачами Тегерана були визнані O₃, NO, NO₂, NO_x, CO, PM10 і PM2.5. Для створення карти забруднення повітря авторами були обрані вимірювання у зимовий період зазначених забруднювачів, які повторювалися протягом п'яти років у той самий період, і поширені на всю територію за допомогою методу крігінгу. Отримані карти продемонстрували критичну ситуацію з забрудненням повітря в досліджуваній території.

Це підкреслює необхідність ефективних планів щодо пом'якшення проблеми забруднення атмосферного повітря за останні роки та важливості даних досліджень на світовому рівні.

Карантинні обмеження, воєнні дії на території України впливають на динаміку надходжень забруднюючих речовин в атмосферне повітря та їх розподіл над територією України [7], тому проведення подальших досліджень рівня забруднення атмосферного повітря України за останні роки є також актуальним.

Мета і завдання

Мета – дослідження забруднення атмосфери на території України протягом останніх років.

Відповідно до поставленої мети вирішуються наступні завдання:

- проведення аналізу динаміки викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря;
- побудова та аналіз карт просторового розподілу показника KІЗА;
- оцінка змін рівня забруднення атмосферного повітря України за останні роки.

Виклад основного матеріалу

Рівень забруднення атмосферного повітря формується викидами забруднюючих речовин від стаціонарних та пересувних джерел викидів.

Динаміка обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних та пересувних джерел в Україні за період 1990–2021 р.р. досліджувалась за даними Державної служби статистики [19]. Визначено, що протягом досліджуваного періоду спостерігається стійка тенденція до скорочення загального об'єму викидів. Внесок стаціонарних джерел у загальну кількість викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря є більшим порівняно з пересувними джерелами та в зазначеному періоді в середньому складає 65,9%. З 1992 р. спостерігається поступове збільшення долі викидів від пересувних джерел у загальному обсязі викидів забруднюючих речовин (з 29,6% до 40,8 %).

В роботі виконано картування та аналіз динаміки зміни рівня забруднення атмосферного повітря на території України за комплексним

індексом забруднення атмосферного повітря міст України (КІЗА) за період 2020–2023 р.р.

Вихідними даними слугували значення показника КІЗА, наведені в «Узагальненій інформації про якість атмосферного повітря в населених пунктах за даними мережі спостережень гідрометеорологічних організацій» за 2020–2023 р.р. [20]. У 2020 р., 2021 р. значення КІЗА визначалось для 39 міст України; у 2022 р. – для 39 міст (для низки міст дані визначались не за повний рік, а за період від 1 до 10 міс.); у 2023 р. для 35 міст.

КІЗА – це показник, що дозволяє оцінити рівень забруднення атмосферного повітря. Для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря використовують наступну шкалу: менше 5 – низький рівень; від 5,0 до 7,0 – підвищений рівень; від 7,0 до 14,0 – високий рівень; вище 14,0 – дуже високий [20].

Карти просторового розподілу показника КІЗА побудовано за допомогою програмного пакету QGIS, який є потужним інструментом, що дозволяє виконувати різноманітні завдання просторового аналізу даних. Для проведення аналізу попередньо було складено таблицю з даними, що містить поля з назвами міст, їх координати та значення показника КІЗА окремо по роках.

Карти просторового розподілу виконувались із використанням методу інтерполяції за допомогою

інструменту «IDW Interpolation» (інтерполяція методом обернено зважених відстаней) та побудовані окремо по роках у період з 2020 р.по 2023 р. (рис. 1–4).

Аналіз побудованих шляхом інтерполяції карт розподілу рівня забруднення атмосферного повітря дозволяє зробити висновок, що протягом 2020–2022 р.р. на території Івано-Франківської, Чернівецької, Тернопільської, Хмельницької, Житомирської, Закарпатської, Вінницької, Чернігівської, Дніпропетровської та Запорізької областей спостерігалось зниження показника КІЗА і, відповідно, зниження забруднення атмосферного повітря на цих територіях. Підвищення забруднення атмосферного повітря в цей період можна відмітити на території Львівської, Луцької та Одеської областей.

Порівнюючи побудовані карти розподілу рівня забруднення атмосферного повітря за 2022 р. та 2023 р. можна відмітити підвищення забруднення на території Закарпатської, Вінницької та Херсонської областей і його зниження на території Одеської області. Слід зазначити, що у 2023 р. відсутні дані з постів спостережень у м. Маріуполь, Рубіжне, Сіверськодонецьк та Лисичанськ, що не дозволяє врахувати вплив цих міст на рівень забруднення атмосферного повітря на прилеглих територіях.

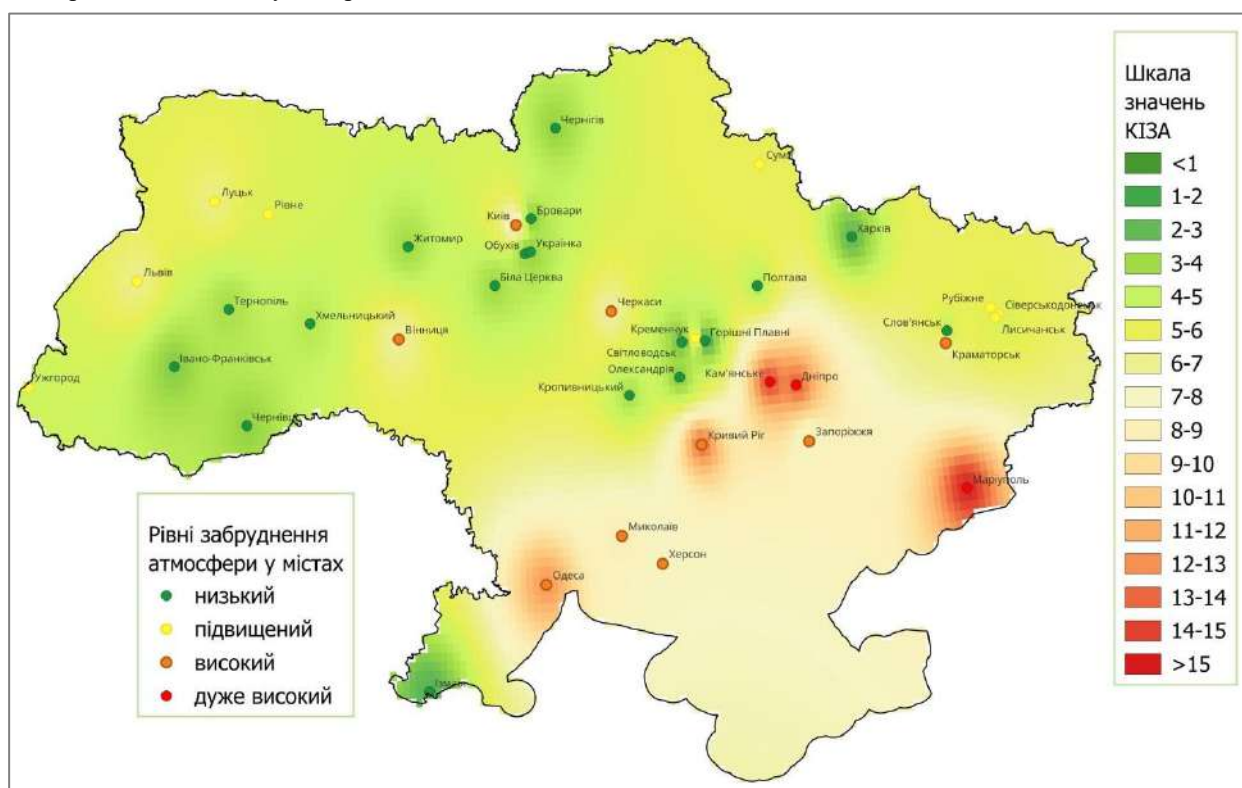


Рис. 1. Просторовий розподіл рівня забруднення атмосферного повітря на території України за показником КІЗА у 2020 р. (побудовано за [20], картографічна основа [21])

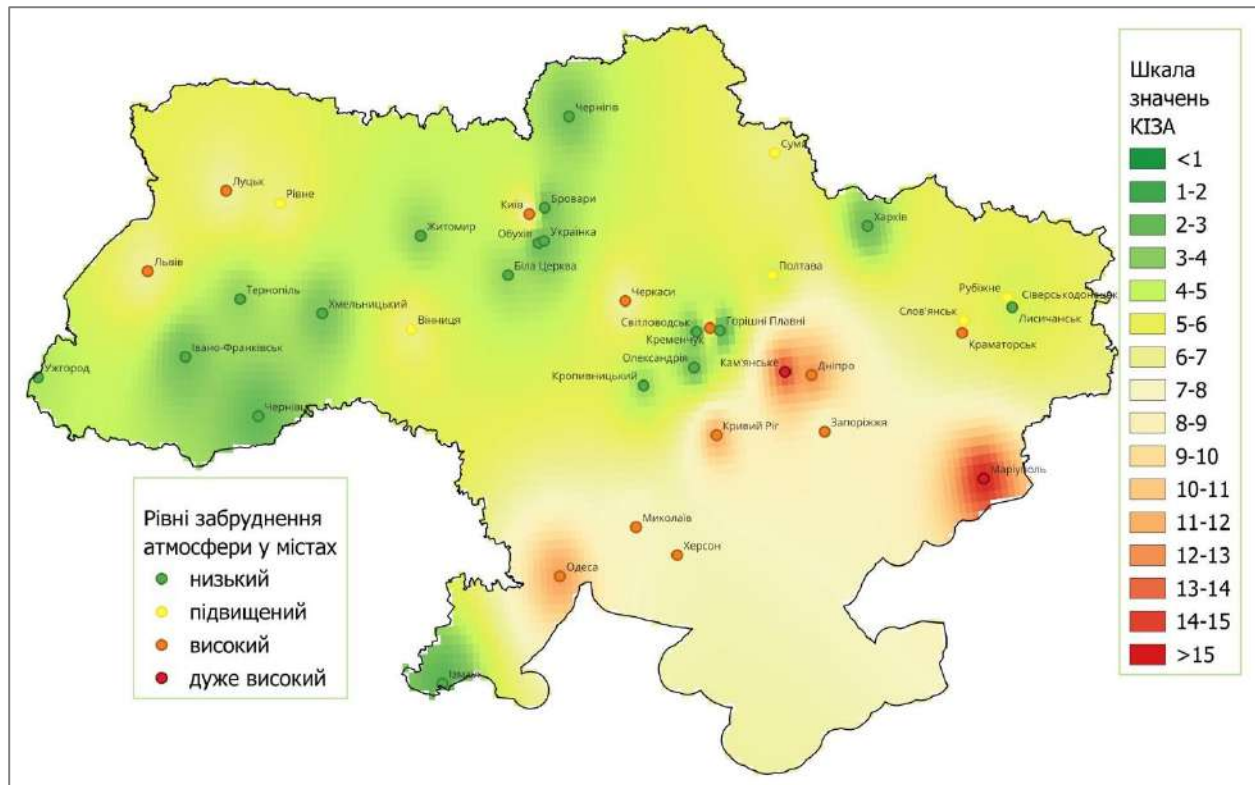


Рис. 2. Просторовий розподіл рівня забруднення атмосферного повітря на території України за показником КІЗА у 2021 р. (побудовано за [20], картографічна основа [21])

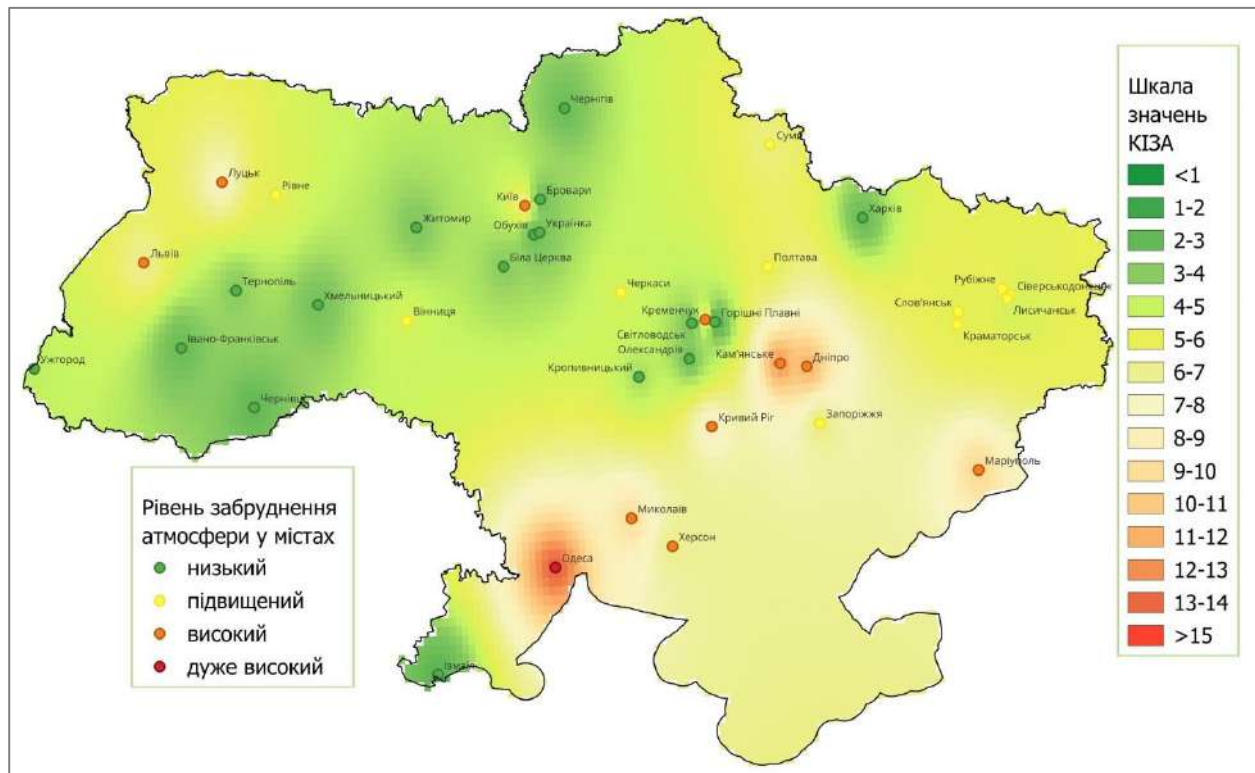


Рис. 3. Просторовий розподіл рівня забруднення атмосферного повітря на території України за показником КІЗА у 2022 р. (побудовано за [20], картографічна основа [21])

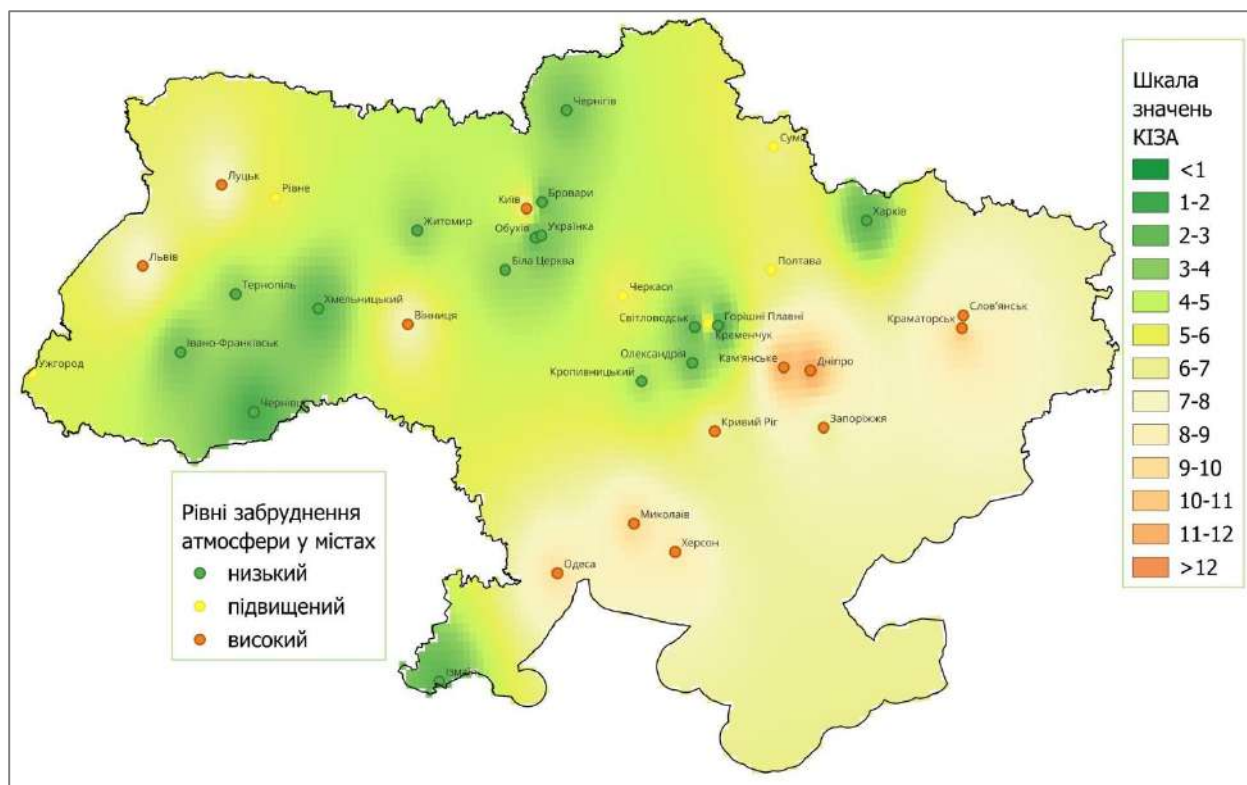


Рис. 4. Просторовий розподіл рівня забруднення атмосферного повітря на території України за показником КІЗА у 2023 р. (побудовано за [20], картографічна основа [21])

Висновки та перспективи подальших досліджень

У ході проведеного дослідження встановлено, що починаючи з 1991 р. спостерігається тенденція до скорочення загального об'єму викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. У період з 1991 р. по 2021 р. збільшується частка викидів від пересувних джерел у загальному об'ємі викидів в атмосферне повітря.

Аналіз побудованих карт просторового розподілу рівня забруднення атмосферного повітря за показником КІЗА показав, що протягом 2020-2021 р.р. в 10 областях України спостерігається зниження забруднення атмосферного повітря і підвищення на території 3 областей. В 2023 р. порівняно з 2022 р. відбувається підвищення забруднення на території 3 областей і зниження на території 1 області.

Вважаємо, що перспективним є подальше дослідження забруднення атмосферного повітря за допомогою засобів та методів просторового аналізу, зокрема з використанням відкритих супутникових даних.

Література

1. Air pollution [Електронний ресурс] / World Health Organization. – Режим доступу: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
2. Яценко Ю. Оцінка сучасного рівня та тенденцій забруднення атмосферного повітря міст України діоксидом азоту [Електронний ресурс] / Ю. Яценко, О. Шевченко, С. Сніжко // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2018. – Т.3(82). – С. 87-95. – Режим доступу: <https://doi.org/10.17721/17282713.82.11>
3. Просторовий розподіл формальдегіду в атмосферному повітрі м. Одеса [Електронний ресурс] / О. А. Бургаз, В. О. Гуляк. – Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/12/96-1.pdf>
4. Бодак І. В. Просторово-часова варіація забруднення атмосферного повітря м. Харків дрібнодисперсним пилом фракції PM_{2,5} [Електронний ресурс] / І. В. Бодак, К. В. Дядечко // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2020. – №. 33. – С. 91-101. – Режим доступу: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2020-33-08>
5. Гринчишин Н. М. Якість атмосферного повітря за вмістом твердих мікрочастинок (PM_{2,5}) у містах України в умовах карантину та воєнного стану [Електронний ресурс] / Н. М. Гринчишин // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. – 2023. – №.27. – С. 6-15. – Режим доступу: <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.27.2023.01>
6. Савенець М. В. Сучасний стан забруднення атмосферного повітря в Україні за даними супутника Sentinel-5P [Електронний ресурс] / М. В. Савенець, І. В. Дворецька, Л. М. Надточій // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. екологія». – 2019. – № 51. – С. 221-233. – Режим доступу: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-16>
7. Давибіда Л. І. Оцінка змін якості атмосферного повітря над територією України у 2021-2022 роках за даними аналізу супутникових зображень Sentinel-5P [Електронний ресурс] / Л. І. Давибіда, І. І. Базюк // Подільські читання-2023: комунікаційні стратегії для

реалізації геоєкологічних ініціатив та проєктів : матеріали міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 30-річчю першого набору на спеціальність «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» у Тернопільському національному педагогічному університеті ім. В. Гнатюка (2-3 листопада 2023 р.). Тернопіль : ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2023. С. 68-71. – Режим доступу: <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/30980>

8. Мокін В. Б. Просторовий аналіз даних забруднення атмосферного повітря Вінницької області за даними державного моніторингу у 2020 р. [Електронний ресурс] / В. Б. Мокін, С. М. Крижановський, А. В. Піроговський // Матеріали LI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 31 травня 2022 р. – Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/36037>

9. Turner W., Rondinini C., Pettorelli N., Mora B., Leidner A.K., Szantoi Z., Buchanan G., Dech S., Dwyer J., Herold M., Koh L.P., Leimgruber P., Taubenboeck H., Wegmann M., Wikelski M., Woodcock C. Free and open-access satellite data are key to biodiversity conservation // *Biological Conservation*. – 2015. – Vol. 182. – P. 173–176. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.048>

10. Duncan B.N. et al. Assessment of the impact of aerosol variations on air quality // *Atmospheric Environment*. – 2014. – Vol. 94. – P. 647–662. – DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.05.061>

11. Alvarado M.J., McVey A.E., Hegarty J.D., Cross E.S., Hasenkopf C.A., Lynch R., Kennelly E.J., Onasch T.B., Awe Y., Sanchez-Triana E., Kleiman G. Evaluating the use of satellite observations to supplement ground-level air quality data in selected cities in low- and middle-income countries // *Atmospheric Environment*. – 2019. – Vol. 218. – Article 117016. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117016>

12. Lee K.H., Wong M.S., Li J. Review of Atmospheric Environmental Change from Earth Observing Satellites // *Asian J. Atmos. Environ.* – 2022. – Vol. 16. – Article 2021147. – DOI: <https://doi.org/10.5572/ajae.2021.147>

13. Li C., Hsu N.C., Tsay S.C. A study on the potential applications of satellite data in air quality monitoring and forecasting // *Atmospheric Environment*. – 2011. – Vol. 45, Issue 22. – P. 3663–3675. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.04.032>

14. Salama D.S., Yousif M., Gedamy Y., Ahmed H.M., Ali M.E., Shoukry E.M. Satellite observations for monitoring atmospheric NO₂ in correlation with the existing pollution sources under arid environment // *Model Earth Syst Environ.* – 2022. – Vol. 8, Issue 3. – P. 4103–4121. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01352-3>

15. Cederlöf M., Bengtsson L., Hodges K.I. Assessment of atmospheric temperature datasets for climate research // *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*. – 2016. – Vol. 68, Issue 1. – Article 31503. – DOI: <https://doi.org/10.3402/tellusa.v68.31503>

16. Zajusz-Zubek E., Korban Z. Analysis of Air Pollution Based on the Measurement Results from a Mobile Laboratory for the Measurement of Air Pollution // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2022. – Vol. 19, Issue 20. – Article 13474. – DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192013474>

17. Yim S.H.L., Huang T. Analysis of the air quality in upper atmospheric boundary layer in a high-density city in Asia using 3-year vertical profiles measured by the 3-Dimensional Real-Time Atmospheric Monitoring System (3DREAMS) // *Science of The Total Environment*. – 2023. – Vol. 857, Part 1. – Article 159137. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159137>

18. Pahlavani P., Sheikhan H., Bigdeli B. Assessment of an air pollution monitoring network to generate urban air pollution maps using Shannon information index, fuzzy overlay, and Dempster-Shafer theory, A case study: Tehran, Iran // *Atmospheric Environment*. – 2017. – Vol. 167. – P. 254–269. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.039>

19. Викиди забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю в атмосферне повітря (1990-2023) [Електронний ресурс] / Державна служба статистики України. – Режим доступу: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2020/ns/ns_rik/vz_r_dv_90_20_ue.xlsx

20. Узагальнена інформація про якість атмосферного повітря в населених пунктах за даними мережі спостережень гідрометеорологічних організацій [Електронний ресурс] / Єдиний державний портал відкритих даних. – Режим доступу: <https://data.gov.ua/dataset/3eda331d-d4ec-4e7f-b11b-f21fe1f56239>

21. Ukraine – Subnational Administrative boundaries [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://data.humdata.org/dataset/geoboundaries-admin-boundaries-for-ukraine>

References

1. Air pollution. World Health Organization. Retrived from https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
2. Yatsenko, Y. ., Shevchenko O., & Snizhko, S. (2018). Assessment of air pollution level of nitrogen dioxide and trends of it changes in the cities of Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(82), 87-95. <https://doi.org/10.17721/17282713.82.11>
3. Burgaz, O.A. Gulyak, V.O. (n.d) Spatial distribution of formaldehyde in the atmospheric air of Odesa. <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/12/96-1.pdf>
4. Bodak, I. V., & Dyadechko, K. V. (2020). Spatial and temporal variability of PM_{2.5} air polution level in Kharkiv city. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (33), 91-101. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2020-33-08>
5. Grynchyshyn, N. (2023). Atmospheric air quality by the content of solid microparticles (PM 2.5) in the cities of Ukraine in the conditions of quarantine and martial state. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, 27, 6-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.27.2023.01>
6. Savenets, M., Nadtochii, L., Dvoretzka I. (2020). Current state of atmospheric air pollution in Ukraine based on Sentinel-5P satellite data. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Geology. Geography. Ecology"*;51, 221-233. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-16>
7. Davybidia, L., Baziuk, I. (2023) Evaluation of changes in air quality over the territory of Ukraine in 2021-2022 according to the analysis of Sentinel-5P satellite images. *Podilski readings-2023: communication strategies for the implementation of geo-environmental initiatives and projects : materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 30th anniversary of the first enrolment in the speciality 'Ecology, Environmental Protection and Sustainable Nature Management' at Ternopil V. Hnatiuk National Pedagogical University*, 68-71. <http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/30980>
8. Mokin V.B., Kryzhanovskiy, E.M., Pirohovskiy, A.V.(2022). Spatial analysis of air pollution data of Vinnytsia region according to state monitoring in 2020. *Proceedings of the LI Scientific and Technical Conference of VNTU Departments*. <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/36037>
9. Turner, W., Rondinini, C., Pettorelli, N., Mora, B., Leidner, A. K., Szantoi, Z., Buchanan, G., Dech, S., Dwyer, J., Herold, M., Koh, L. P., Leimgruber, P., Taubenboeck, H., Wegmann,

- M., Wikelski, M., & Woodcock, C. (2015). Free and open-access satellite data are key to biodiversity conservation. *Biological Conservation*, 182, 173–176. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.048>
10. Duncan, B. N., et al. (2014). Assessment of the impact of aerosol variations on air quality. *Atmospheric Environment*, 94, 647–662. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.05.061>
11. Alvarado, M. J., McVey, A. E., Hegarty, J. D., Cross, E. S., Hasenkopf, C. A., Lynch, R., Kennelly, E. J., Onasch, T. B., Awe, Y., Sanchez-Triana, E., & Kleiman, G. (2019). Evaluating the use of satellite observations to supplement ground-level air quality data in selected cities in low- and middle-income countries. *Atmospheric Environment*, 218, Article 117016. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117016>
12. Lee, K. H., Wong, M. S., & Li, J. (2022). Review of atmospheric environmental change from Earth observing satellites. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 16, Article 2021147. <https://doi.org/10.5572/ajae.2021.147>
13. Li, C., Hsu, N. C., & Tsay, S.-C. (2011). A study on the potential applications of satellite data in air quality monitoring and forecasting. *Atmospheric Environment*, 45(22), 3663–3675. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.04.032>
14. Salama, D. S., Yousif, M., Gedamy, Y., Ahmed, H. M., Ali, M. E., & Shoukry, E. M. (2022). Satellite observations for monitoring atmospheric NO₂ in correlation with the existing pollution sources under arid environment. *Model Earth Systems and Environment*, 8(3), 4103–4121. <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01352-3>
15. Cederlöf, M., Bengtsson, L., & Hodges, K. I. (2016). Assessment of atmospheric temperature datasets for climate research. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 68(1), Article 31503. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v68.31503>
16. Zajusz-Zubek, E., & Korban, Z. (2022). Analysis of air pollution based on the measurement results from a mobile laboratory for the measurement of air pollution. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), Article 13474. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013474>
17. Yim, S. H. L., & Huang, T. (2023). Analysis of the air quality in the upper atmospheric boundary layer in a high-density city in Asia using 3-year vertical profiles measured by the 3-Dimensional Real-Time Atmospheric Monitoring System (3DREAMS). *Science of the Total Environment*, 857, Article 159137. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159137>
18. Pahlavani, P., Sheikhan, H., & Bigdeli, B. (2017). Assessment of an air pollution monitoring network to generate urban air pollution maps using Shannon information index, fuzzy overlay, and Dempster-Shafer theory: A case study in Tehran, Iran. *Atmospheric Environment*, 167, 254–269. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.039>
19. Emissions of pollutants and carbon dioxide into the atmospheric air (1990–2023). State Statistics Service of Ukraine. Retrived from https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2020/ns/ns_rik/vz_r_dv_90_20_ue.xlsx
20. Generalised information on the quality of atmospheric air in settlements according to the observation network of hydrometeorological organisations. Unified State Open Data Portal. Retrived from <https://data.gov.ua/dataset/3eda331d-d4ec-4e7f-b11b-f21fe1f56239>
21. Ukraine – Subnational Administrative boundaries. Retrived from <https://data.humdata.org/dataset/geoboundaries-admin-boundaries-for-ukraine>

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.В. Савцова, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: ХАЛІН Володимир Петрович
студент 3 курсу

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail – volodymyr.khalin@kname.edu.ua

ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4333-7909>

Автор: ЛОМАКІНА Ольга Сергіївна

старший викладач кафедри інженерної екології міст

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail – olha.lomakina@kname.edu.ua

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3908-4638>

ANALYSIS OF THE ATMOSPHERIC AIR POLLUTION IN UKRAINE

V.Khalin, O. Lomakina

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The problem of air pollution is one of the most pressing issues of our time. An analysis of recent research and publications has shown high publication activity in this area. Most of the works by Ukrainian scientists focus on analysing the state of atmospheric air pollution. A significant number of studies have been conducted using spatial analysis methods, state monitoring data or open satellite data.

The purpose of this paper is to study air pollution in Ukraine in recent years. The objectives are to analyse the dynamics of pollutant emissions into the air and to assess changes in the level of air pollution using maps of its spatial distribution.

The analysis of open statistical data has shown that over the past two decades, there has been a decrease in the total volume of pollutant emissions into the atmosphere. Stationary sources make a greater contribution to total emissions, but there is a gradual increase in the share of emissions from mobile sources in the total.

The article analyses the dynamics of changes in the level of atmospheric air pollution in Ukraine in 2020–2023 using the comprehensive air pollution index provided in open data on atmospheric air quality. This index is a measure that allows us to assess the level of air pollution. The maps of the spatial distribution of the Composite Air Pollution Index were created using the QGIS software package by interpolation using the IDW Interpolation tool. The analysis of the maps of the spatial distribution of air pollution levels showed that in 2020–2021, there was a decrease in air pollution in 10 regions of Ukraine and an increase in 3 regions. In 2023, compared to 2022, there was an increase in pollution in 3 regions and a decrease in 1 region.

Keywords: emissions of pollutants, air pollution level, spatial analysis of the environment.