

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА**

Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів
Кафедра екології та біомоніторингу

**Динаміка просторово-часових варіацій полютантів у
атмосферному повітрі м. Чернівці**

**Кваліфікаційна робота
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)**

Виконав:
Студент II курсу 603 групи
Спеціальності 101 – Екологія
Вадим ЛУПУЛ

Науковий керівник:
к.б.н., асист. Оксана ЗАРОЧЕНЦЕВА

Рецензент _____
(прізвище та ініціали, кафедра, університет)

До захисту допущено:
Протокол засідання кафедри № 7
від « 25 » листопада 2024 р.
зав. кафедри _____ проф. Марія ФЕДОРЯК

Чернівці – 2024

АНОТАЦІЯ

Лупул В.О. Динаміка просторово-часових варіацій поллютантів у атмосферному повітрі м. Чернівці. *Кваліфікаційна робота другого (магістерського) рівня вищої освіти.* Спеціальність 101 Екологія. Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича. Чернівці, 2024.

На основі відкритих даних екологічної інформації проаналізовано вміст 9 забруднювальних речовин (завислі речовини, SO₂, NO₂, NO, HCl, C₆H₆O, CO, CH₂O, HF) у атмосферному повітрі м. Чернівці. На основі відповідності нормативам та розрахованих комплексних індексів визначено стан якості повітря та його вплив на ризик для здоров'я населення.

Ключові слова: атмосферне повітря, моніторинг, Чернівці, забруднювальні речовини, ризик для здоров'я

ANNOTATION

Lupul V.O. Dynamics of changes spatial and temporal variations of pollutants in the atmospheric air of Chernivtsi. *Qualification work of the second (master's) level of higher education.* Specialty 101 Ecology. Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University. Chernivtsi, 2024.

Open data of environmental information were processed and it was based on them the content of 9 pollutants (suspended matter, SO₂, NO₂, NO, HCl, C₆H₆O, CO, CH₂O, HF) in the atmospheric air of Chernivtsi city was analyzed. The are were determined compliance with standards and calculated complex indices, the state of air quality and its impact were determined on the risk to public health.

Keywords: atmospheric air, monitoring, Chernivtsi, pollutants, risk to health

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів наукових досліджень інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Вадим ЛУПУЛ
(підпис)

ЗМІСТ

ВСТУП	...3
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	...4
1.1. Стан доступу до екологічної інформації в формі відкритих даних в Україні	...4
1.2. Загальні відомості про стаціонарні пости спостереження за станом атмосферного повітря	...13
1.3. Характеристика основних забруднювальних речовин атмосферного повітря	...20
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	...26
2.1. Об'єкт, предмет та матеріали дослідження	...26
2.2. Методологія проведення дослідження	...27
2.3. Фізико-географічні та природно-кліматичні особливості регіону дослідження	...35
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	...39
3.1. Дослідження динаміки змін вмісту поллютантів у атмосферному повітрі м. Чернівці на основі сукупності відкритих даних	...39
3.2. Кореляційно-регресійний аналіз тенденцій просторово-часових варіацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі м. Чернівці	...64
3.3. Оцінка впливу шкідливих речовин повітря на виникнення ризику для здоров'я населення	...69
ВИСНОВКИ	...77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	...79
ДОДАТКИ	...85

ВСТУП

Актуальність. В Україні відбувається важливий період науково-інноваційного розвитку, у якому інформаційні ресурси відіграють ключову роль, адже їх застосовують у всіх галузях знань, зокрема й в екологічно орієнтованих сферах. Наразі суспільство стоїть перед можливостями та викликами, які передбачає цифрова трансформація. Відкритість інформаційних джерел обумовило розвиток інноваційних підходів щодо отримання багаточисельної бази даних та їх опрацювання за допомогою різноманітних аналізів з метою розуміння реальної єдиної картини свого населеного пункту, регіону чи країни загалом та подальшого поширення отриманих результатів (Ковалено та ін., 2024).

Доступ до екологічної інформації стає підґрунтям для підвищення рівня обізнаності суспільства щодо екологічного стану навколишнього природного середовища, прозорості і розуміння екологічної ситуації в тих чи інших місцевостях, безпосередньої участі громадськості та захисту прав на чисте, безпечне для життя і здоров'я навколишнє природне середовище (Гончарук та ін., 2024). Водночас важливим є й правильне використання та інтерпретування усієї сукупності даних та цифрових технологій. Тому актуальність питання щодо опрацювання масиву даних екологічної інформації з доступних відкритих офіційних джерел та їх представлення суспільству з метою розуміння цілісної картини екологічної ситуації не викликає сумнівів.

Зважаючи на вищевикладене, **метою** даної роботи стало проаналізувати динаміку змін просторово-часових варіацій забруднювальних речовин у атмосферному повітрі м. Чернівці.

Відповідно до мети були поставлені наступні **завдання**:

- на основі сукупності відкритих даних розглянути вміст та допустимість концентрацій поллютантів у атмосферному повітрі м. Чернівці за період з червні 2023 р. по травень 2024 р.;
- за допомогою статистичного опрацювання даних, в тому числі

кореляційного та регресійного аналізів, дослідити тенденції змін їх просторово-часових варіацій;

- з'ясувати особливості сезонного розподілу концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі;
- здійснити гігієнічну оцінку якості повітря м. Чернівці за сумарними показниками індексу небезпеки та коефіцієнту небезпеки, з урахуванням ризику для здоров'я населення;
- з-поміж досліджуваних поллютантів атмосферного повітря визначити речовину з найбільш шкідливим проявом та її питомий внесок.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Стан доступу до екологічної інформації в формі відкритих даних в Україні

Доступ до екологічної інформації – це підґрунтя для громадської участі та захисту прав на чисте та безпечне для життя та здоров'я довкілля. Основна мета полягає у підвищенні рівня обізнаності населення з реальною ситуацією щодо екологічного стану навколишнього середовища (Карпа, 2024).

В Україні доступ до екологічної інформації нормується низкою законодавчих актів, в тому числі й Конституцією України, Законами України «Про доступ до публічної інформації», «Про інформацію», Орхуською Конвенцією тощо (Ільків, 2023).

Особливе місце відводиться екологічній інформації, поданій у формі відкритих даних. Останні являють собою публічну достовірну інформацію у вигляді, що дозволяє її автоматизоване опрацювання електронними засобами, безоплатний та вільний доступ до неї, з можливістю її подальшого цільового використання (Стан доступу до...2024).

Основними користувачами відкритих даних, зазвичай, стають розробники програмного забезпечення, дослідники, науковці, аналітики, фахівці у відповідній галузі, журналісти й громадські активісти. На основі цієї публічної інформації вони створюють веб-сторінки, застосунки, чат-боти, інтерактивні карти, різноманітні візуалізації даних, здійснюють науково-аналітичні дослідження, а іноді й журналістські розслідування.

Перелік відкритих даних, обов'язкових до публікації державними розпорядниками даних, визначений у Постанові КМУ № 835 від 21 жовтня 2015 р. «Про затвердження Положення про набори даних, які підлягають оприлюдненню у формі відкритих даних» (Ільків, 2023).

Після 24.02.2022 р. стан доступу до відкритих екологічних даних суттєво ускладнився, в сторону погіршення. Тому, аналізуючи можливість ознайомлення з екологічною інформацією (всього проаналізовано понад 200

наборів від 74 розпорядників за період з 01.01.2022 по 29.10.2024), виявилося, що вона може мати (Стан доступу до...2024):

- відкритий доступ (у 38 % випадків від загального числа) – інформація вчасно оновлюється і безперешкодно оприлюднюється в форматі відкритих даних на Єдиному державному веб-порталі (далі – Портал);
- обмежений доступ (13 %) – інформація оприлюднюється на веб Порталі, але дані знаходяться не у вигляді відкритих даних або вчасно не оновлюються;
- закритий доступ (38 %) – інформація на веб Порталі не оприлюднюється розпорядником (або з початком воєнних дій не оновлюється);
- відсутність даних (3 %) – деяка інформація з'явилися на веб Порталі відносно недавно або «заморожена» (наприклад, для наборів даних органів місцевого самоврядування Донецької, Луганської областей, м. Севастополь та Автономної Республіки Крим);
- на модерації (7 %) – інформацію на веб Портал додано розпорядником, але на момент доступу вона знаходиться в стані модерації (згідно з відповіддю на запит);
- виключено з Постанови №835 (2 %) – інформацію на момент доступу виключена з Постанови КМУ №835.

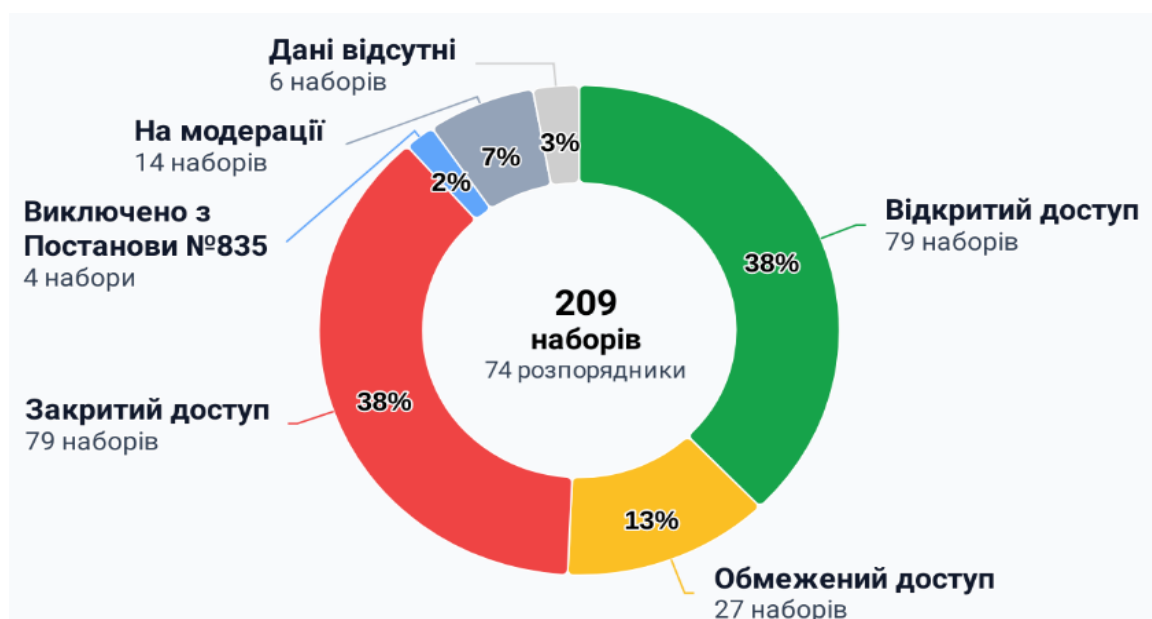


Рис. 1.1. Стан доступу до екологічних відкритих даних (згідно джерела: <https://www.saveecobot.com/static/environmental-data-status>)

Зважаючи на той факт, що у відповідності з Постановою №835 розпорядників екологічних даних дуже багато, а загальна кількість наборів у них суттєво відрізняється, то також проаналізовано за кількістю наборів найчисельніших розпорядників, і здійснено між ними порівняння їх показників. Для цього усіх розпорядників згруповано за типом органу влади – відомства, ОДА (ОВА), міністерства, міські ради регіональних центрів. Для кожної групи (з метою порівняння) обчислено відносну кількість відкритих екологічних наборів. Так, з'ясовано, що жоден розпорядник чи орган влади не надає повноцінний доступ (рис. 1.2). Рівень їх доступності коливається в межах ~6-70 % серед розпорядників (найприємливіший показник визначено для Держгеонадра) та ~26-44 % з-поміж органів влади (найприємливіший показник визначено для ОДА (ОВА) і відомств).

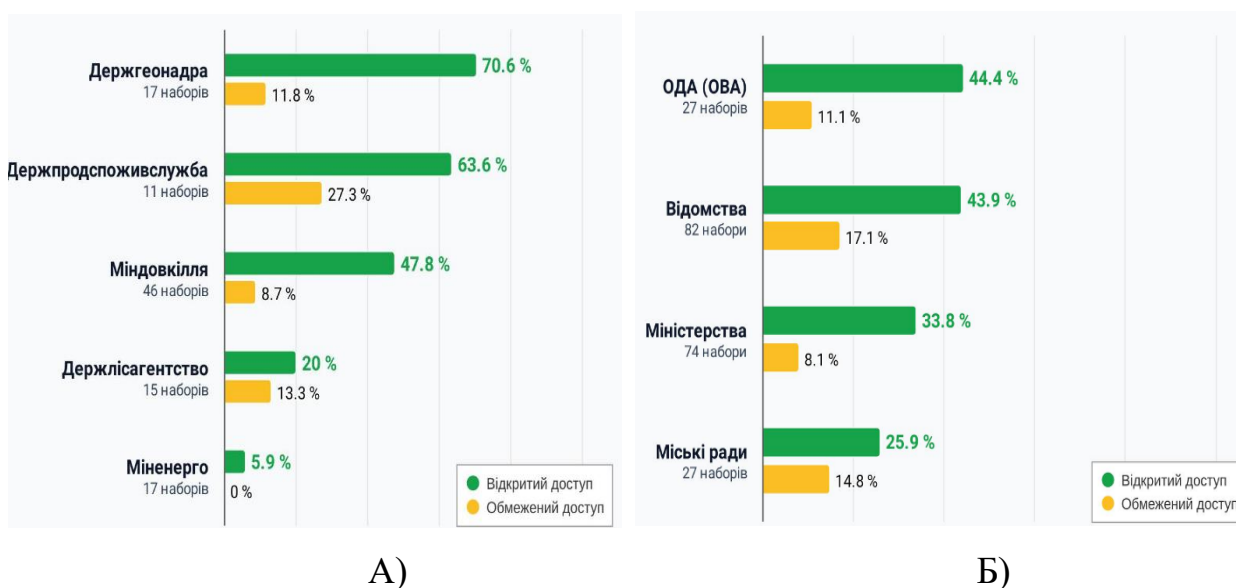


Рис. 1.2. Рейтинг розпорядників (А) та органів влади (Б), сформований за відносною кількістю відкритих екологічних наборів

Місцеві держадміністрації та органи місцевого самоврядування згідно Постанови №835 повинні надавати доступ до двох блоків відкритих екологічних даних. Мова йде про «Перелік дозволів на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами об'єктів 2 і 3 груп із зазначенням номера та строку дії (для облдержадміністрацій)» та «Дані про зелені насадження, що підлягають видаленню, відповідно до виданих актів

обстеження зелених насаджень» – для міських рад регіональних центрів

Так, виявлено, що у більшості регіонів дані переважно мають закритий та обмежений доступ. І лише в 5-ти (щодо міськрад; рис. 1.3 А) та 11-ти (щодо регіональних адміністрацій; рис. 1.3 Б) доступ є безперешкодним, а інформація вчасно актуалізована).

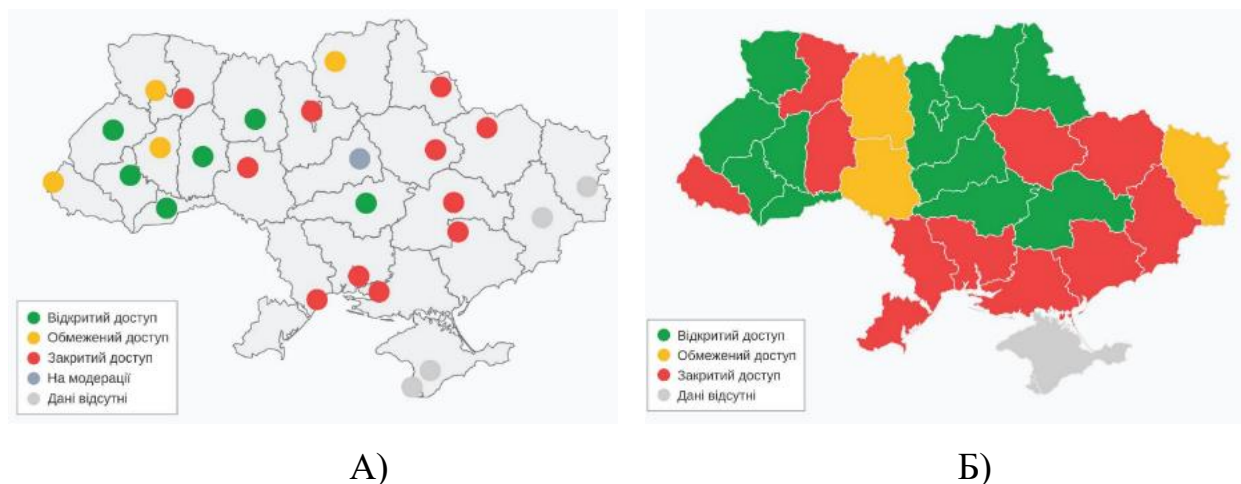
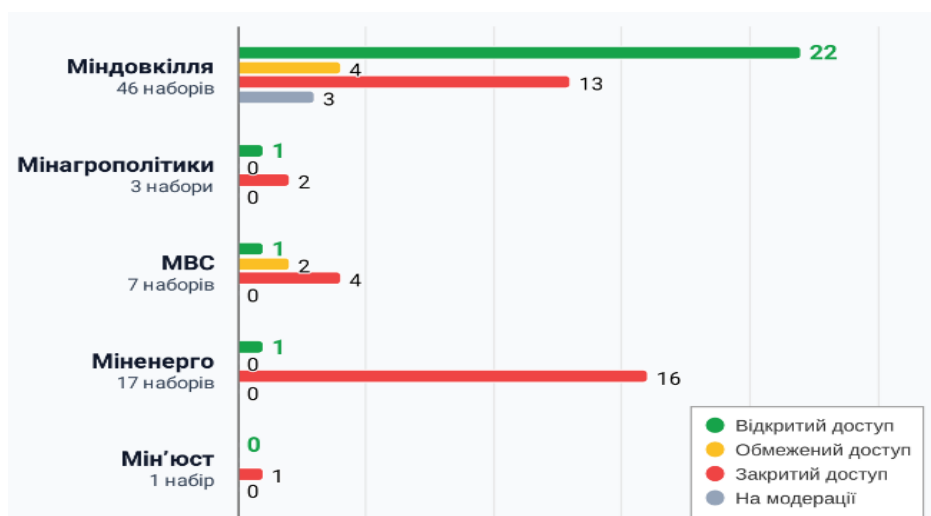


Рис. 1.3. Доступність та відкритість міськрад (А) та регіональних адміністрацій (Б) щодо публічності екологічних наборів даних згідно Постанови №835

Якщо звернути увагу на ситуацію з відкритістю екоінформації у міністерствах і відомствах, то бачимо, що найлегше отримати дані можна у Міндовкілля (рис. 1.4 А). З-поміж відомств відносною доступністю характеризується Держгеонадра (рис. 1.4 Б).



А)



Б)

Рис. 1.4. Рейтинг міністерств (А) та відомств (Б) за доступністю до відкритих даних згідно Постанови №835

Узагальнюючи отриману інформацію, можна побачити, зворотну сторону публічності до відкритих даних. Так, з'ясовано, що серед розпорядників Міненерго найчастіше закриває доступ до інформації (рис. 1.5), порушуючи і Постанову №835 і вимоги Орхуської конвенції. Прозорість і відкритість мають значення, тому сформований антирейтинг демонструє проблемні аспекти в доступності до публічної важливої інформації.

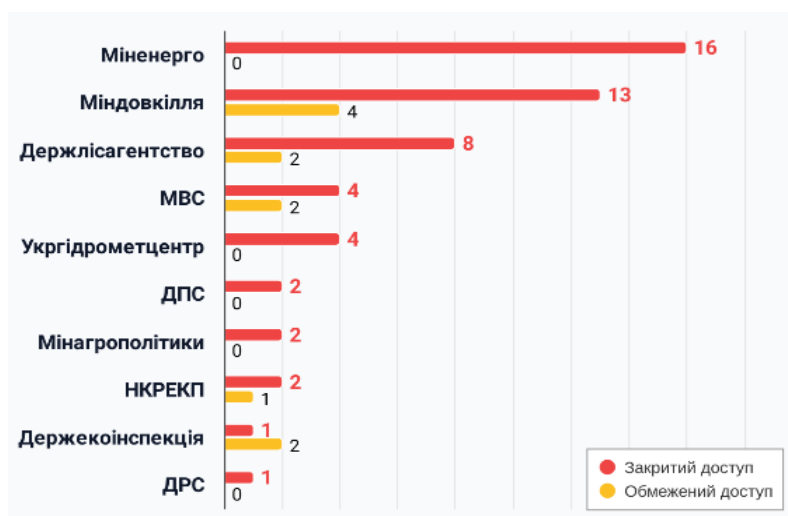


Рис. 1.5. Антирейтинг розпорядників, сформований на закритості доступу до публічної інформації

Водночас, за останні два роки чисельність масиву екологічних баз даних та їх відкритість поступово зростає. Це демонструє не лише доступність, але й прозорість та обізнаність громадськості з екологічними відомостями (рис. 1.6, 1.7).

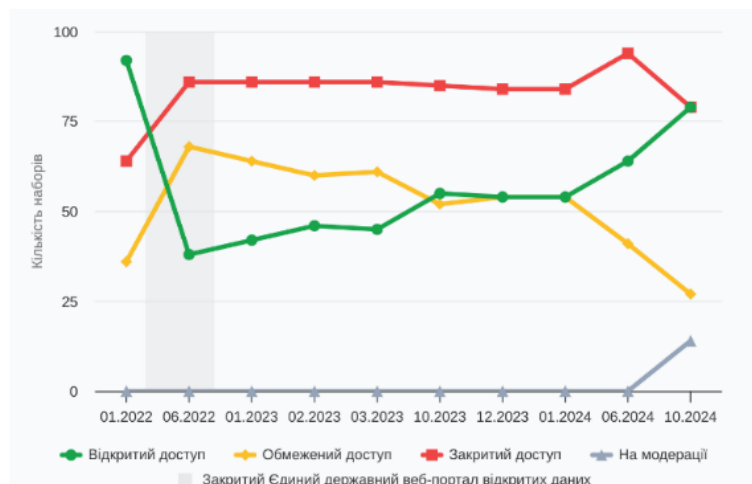


Рис. 1.6. Динаміка стану доступу та відкритості до масиву екологічних баз даних

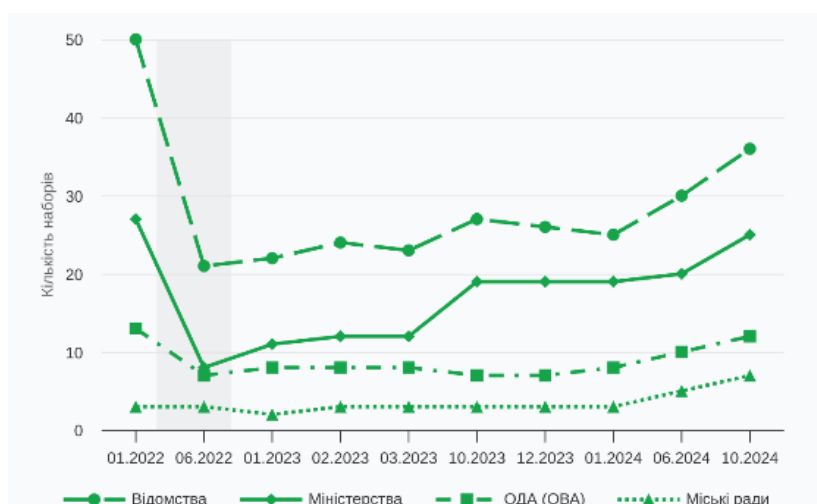


Рис. 1.7. Динаміка масиву екологічних баз даних з відкритим доступом органів влади

На веб-ресурсі <https://www.saveecobot.com/static/environmental-data-status>) можна більш детально ознайомитися з інформацією про набори баз відкритих даних та їх доступність по кожному розпоряднику (згідно Постанови №835) (рис. 1.8). Даний матеріал сформовано ЄС та Міжнародним Фондом «Відродження» в рамках програми «European Renaissance of Ukraine: Civil Society Resilience and Recovery Initiative».



Рис. 1.8. Фрагмент масиву даних, поданих щодо інформації про набори баз відкритих даних та їх доступність по кожному розпоряднику (згідно Постанови №835) на веб-ресурсі <https://www.saveecobot.com/static/environmental-data-status>

Таким чином, незважаючи на значну частку перешкод з отримання екологічної інформації (зокрема, її закритість, відсутність, обмеженість тощо), спостерігається тенденція до формування більшої кількості бази екологічних даних та їх поступового відновлення доступу в напрямку прозорості і відкритості.

1.2. Загальні відомості про стаціонарні пости спостереження за станом атмосферного повітря

Пост спостереження (моніторингу) за станом атмосферного повітря (далі – ПС) являє собою павільйон (розташований на земельній ділянці) або автомобіль, укомплектований відповідними приладами, тобто це комплектна лабораторія, яка здійснює безперервне спостереження за станом приземного шару атмосферного повітря (Міщук, 2019).

В Україні діє 162 стаціонарних та 2 маршрутні ПС, а також 2 станції транскордонного переносу. Усі вони підпорядковані Державній гідрометеорологічній службі (МНС). По Україні моніторинг якості повітря здійснюється у 53 містах. При цьому, у великих містах системи моніторингу представлені стаціонарними ПС, кількість яких, зазвичай, не перевищує 3 одиниць на місто. А відповідно до державних будівельних норм «Містобудування, планування та забудова міських і сільських поселень» (ДБН 360-92) до такої категорії міст відносяться міста з чисельністю населення 250-500 тис. осіб, тобто у випадку більшої кількості жителів, число стаціонарних ПС повинно бути більшим (Бордюг та ін., 2021).

Програма обов'язкового моніторингу на ПС включає визначення семи забруднювальних речовин: тверді частинки (пил), двоокис нітрогену (NO_2), двоокис сульфуру (SO_2), оксид карбону, формальдегід (H_2CO), плюмбум та бенз(а)пірен. Втім багато станції здійснюють визначення й інших шкідливих речовин у повітрі. Також аналіз забруднюючих речовин проводиться і в опадах та сніговому покриві (Дмитрієва та ін., 2016).

Локація ПС залежить від цілей його встановлення: з метою моніторингу фонового забруднення ПС встановлюють на місцевості, віддаленій від будь-яких підприємств; з метою ж контролю можливого забруднення певним об'єктом (промисловим підприємством, викидами автотранспорту тощо), ПС розміщують безпосередньо у зоні впливу. Тому ПС повинні бути репрезентативними або бути орієнтованими на конкретні джерела забруднення.

Газоаналітичне обладнання ПС повинно знаходитися у металевому контейнері (фото 1.1), який обладнано кліматичною системою контролю, щоб підтримувати оптимальні умови для приладів та знизити необхідність у цілодобовому перебуванні персоналу в приміщенні. Устаткування ПС повинне бути сертифіковане в Україні, пріоритетним є й відповідність вимогам міжнародних стандартів, наприклад, вимогам Агентства з охорони довкілля США (EPA), ЄС чи інших міжнародних регулюючих установ, що провадять політику з вимірювання критеріїв забруднювальних речовин.



Фото 1.1. Зовнішній вигляд стаціонарного поста спостереження за станом атмосферного повітря у м. Чернівці (автор фото: О. Зароченцева)

Моніторинг повітря на стаціонарних ПС проводиться цілорічно незалежно від погодних умов. Тому досить ефективними в даному випадку є автоматизовані системи, які в автоматичному режиму безперервно збирають, обробляють і передають інформацію про рівень забруднення приземного шару атмосферного повітря. Зазвичай, такі системи включають: павільйон; пристрої опалення, освітлення, вентиляції, кондиціонування і пожежогасіння; щоглове

устаткування із комплектом метеодатчиків, прикріплених на даху павільйону; різноманітні газоаналізатори; устаткування збору й обробки даних на базі комп'ютера (Дмитрієва та ін., 2016).

Загалом екоаналітичні засоби вимірювання поділяються на такі три групи: автоматичні і неавтоматичні, стаціонарні і мобільні (переносні, перевізні), аналізатори і сигналізатори. Універсальні ЗВ здатні вимірювати вміст практично будь-яких речовин різних класів (наприклад, спектрофотометри). Групові ЗВ можуть аналізувати подібні за властивостями речовини одного класу або їх групи (аналізатори вихлопних 86 газів автотранспорту). Цільові ЗВ аналізують специфічні речовини (наприклад, аналізатор С, аналізатор парів Нg). За способом реєстрації результатів розрізняють аналогові і цифрові пристрої (Бордюг та ін., 2021).

Найчастіше на ПС використовують газоаналізатори, які забезпечують максимальну точність та достовірність визначень, наприклад:

газоаналізатор ГПК-1 (кулонометричний) або 667фф (флуоресцентний) для вимірювання вмісту SO₂;

ГМК-3 – оптико-акустичний аналізатор для визначення рівнів CO;

645 ХЛ – хемілюмінесцентний аналізатор для вимірювання вмісту NO_x;

623 ИН – іонізаційний газоаналізатор для вимірювання вмісту вуглеводнів;

652 ХЛ – хемілюмінесцентний аналізатор для вимірювання вмісту O₃.

На ПС обов'язково визначаються метеоумови, оскільки останні впливають на транспортування і розсіювання забруднювальних речовин у повітрі. Відповідно відбір проб супроводжується визначенням за напрямком і швидкістю вітрів, вологістю, атмосферним тиском, температурою, станом підстилаючої поверхні і погоди. Останнє оцінюється візуально: дощ, мряка, ясно, імла, димка, курна буря, сніг, туман. Стан підстилаючої поверхні (береться до уваги ділянка радіусом 100 м від місця спостереження): волога; сніг, зелена трава; суха, яка не порошить чи суха, яка порошить (Міщук, 2019).

Важливе значення має процедура відбору проб повітря, яка є дуже скрупульозною та впливає на подальші результати показників якості

атмосферного повітря. Зазвичай, відбір проб атмосферного повітря на ПС здійснюється чотири рази на добу (у м. Чернівці, це проводять о 01:00, 07:00, 13:00, 19:00). Пробовідбирання повітря здійснюється на висоті 1,5-3,5 м від поверхні землі. При цьому, це можуть бути разові (тоді тривалість відбору проби повинна бути не менше ніж 20-30 хв.) або середньодобові (в такому випадку усереднюються проби, відібрані протягом доби через однакові проміжки часу, але не менше ніж 4 рази) (Дмитрієва та ін., 2016).

Відбираючи разові проби потрібно дотримуватися умов ізокінетичності (швидкість повітря, що проходить через фільтр, має зберігатися однаковою і відповідати швидкості потоку, що набігає; даний процес регулюється за допомогою конусних насадок, на вибір яких впливає швидкість вітру). Сам фільтроуловлювач має орієнтуватися на зустріч потоку вітру (Міщук, 2019).

Уловлювання пилу здійснюється на фільтруючі матеріали, через які продувається повітря та закріплені в спеціальних патронах. В умовах високої запиленості у випадку аналізу добових концентрацій маса пилу на фільтрі може виявитися вищою за його пилоємність. У холодний період року (зокрема за умов низьких температур (менше 0 °C), проби повітря перед аналізом повинні підігрітися до 20 °C. З метою правильного визначення повітряні комунікації потрібно очищати (не рідше ніж 1 раз/місяць) та промивати мильною теплою водою, а потім чистою водою зі спиртом та просушити).

Сорбційні трубки, що уловлюють повітря, необхідно закріплювати лише вертикально (шаром сорбенту вниз; так повітря протікає через шар сорбенту знизу уверх). Для визначення HF повітря потрібно відбирати з фторопластом. При визначенні SO₂, H₂S і SC, проби повітря повинні бути захищені від прямих променів сонця та яскравого світла (Ярцев та ін., 2012).

Найчастіше при відборі проб повітря користуються електроаспіраторами, «пилососами» й інших схожими пристроями (що здатні пропускати потоки повітря), а також приладами-реєстраторами обсягів пройденого повітря (реометри, ротаметри тощо). Так, електроаспіратори повинні забезпечувати можливість безперервної роботи (щонайменше 20

хвилинної), підтримку стабільної витрати повітря при відборі проб, відбір проб одночасно через кілька каналів, визначення об'ємної витрати з похибкою $<5\%$ для атмосферного повітря і до 10% для промвикидів в атмосферу.

Спеціальні поглинальні прилади та пристрої, що здійснюють відбір проб, можуть бути аспіраційними або ж базуються на принципі заповнення судин (у них обмежена ємність). При визначенні газоподібних домішок підходять обидва способи. Натомість, якщо мова йде про аерозольні частинки та пил, тоді доцільним є лише перший. Останній спосіб передбачає проходження повітря через поглинальний прилад, де концентрується аналізована речовина в рідкому чи твердому сорбенті або ж можливе її осідання на аерозольний фільтр (напр., твердих частинок). Для достовірного точного визначення концентрації таких речовин витрата повітря мала б складати десятки і сотні дм^3 протягом однієї хвилини (Дмитрієва та ін., 2016).

Метод заповнення ємностей реалізується вакуумним шляхом (повітря відкачують із герметично закритої ємності, і потім ємність відкривають у місці відбору проби); або насильним продуванням ємності 10-кратним об'ємом повітря в точці відбору проби; а також можливе витіснення інертної (попередньо залитої) рідини повітрям у точці відбору проб (Ярцев та ін., 2012).

В подальшому визначення вмісту хімічних речовин в пробах повітря, які були відібрані на ПС (наприклад, завислі речовини відбираються двічі на добу, а SO_2 – чотири), виконують у Комплексній лабораторії моніторингу за забрудненням природного середовища. Наприклад, у м. Чернівці це здійснюють фахівці Чернівецького обласного центру з гідрометеорології.

Варто відмітити, що у м. Чернівці спостереження за забрудненням атмосферного повітря проводить Чернівецький обласний центр з гідрометеорології на 3-х стаціонарних, опорних ПС. За допомогою різноманітних засобів вимірювальної, техніки, пристроїв, обладнання та устаткування (фото 1.2) досліджуються такі речовини як: діоксид сірки, оксид вуглецю, діоксид та оксид азоту, фенол, фтористий та хлористий водень, формальдегід та завислі речовини.



Фото 2. Засоби виміральної техніки, пристрої та устаткування, що використовуються для дослідження стану повітря на СП у м. Чернівці

Для вимірювання СО використовують газоаналізатор моделі ЕЛАН-СО-50 (фото 1.2). Принцип дії приладу електрохімічний. Спершу включається прилад, прогрівається. Потім включається насос для відбору проб. Після чого потрібно дочекатися стабілізації замірів і протягом 10 хвилин зняти 3 показники концентрації СО. По закінченню прилад вимикають.

Визначення діоксиду нітрогену, оксиду азоту та хлористого водню проводиться з разово відібраних проб (тобто таких, тривалість відбору яких становили 20-30 хв.) і здійснюють аналіз за допомогою фотометру фотоелектричного КФК-3-01 ЗОМЗ. Принцип роботи останнього полягає у вимірюванні значень коефіцієнтів пропускання, оптичної густини прозорих розчинів та швидкості зміни цього показника, з подальшим визначенням концентрації. Даний прилад має високу спектральну роздільну здатність, діапазон якого забезпечується мікропроцесорним пристроєм, і становить 315-990 нм (наприклад, для вимірювання NO та NO₂ у лабораторії м. Чернівці виставляють оптичну густину 520 нм, HCl – 480 нм). Результати проведених досліджень висвітлюються на цифровому індикаторному табло. Після отримання результатів з кожного ПС дані про вміст хімічних речовин, метеорологічні показники та інші спостереження, заносяться в спеціальні журнали, а згодом інформація подається в один із підрозділів регіональних філіалів Держкомгідромету, де вони проходять аудит, систематизуються та вносяться у спеціальні таблиці, яких є 4 типи: ТЗА-1 (внесені дані разових спостережень та інформація про метеоумови), ТЗА-2 (дані підфакельних ПС), ТЗА-3 (дані середньодобових спостережень (зазвичай, це дані про пил та газоподібні домішки); ТЗА-4 (дані середньодобових спостережень, визначені газоаналізаторами чи іншими пристроями безперервної дії) (Дмитрієва та ін., 2016).

З регіональних філіалів інформація надходить до Інформаційно-аналітичного центру Міндовкілля та зберігається у банках екологічних даних. На основі зведених щомісячних та щоквартальних відомостей Міндовкілля публікує інформаційно-аналітичний огляд «Стан довкілля в Україні».

1.3. Характеристика основних забруднювальних речовин атмосферного повітря

Приземний атмосферний шар повітря по всяк час піддається впливу різноманітних газів, дрібних твердих частинок, рідких аерозольних речовин, які обумовлюють негативний ефект на існування та життєдіяльність організмів. Джерелами забруднення атмосферного повітря можуть виступати як природні, так і штучні (антропогенні) чинники (рис. 1.9). При цьому, забруднювачі, що формуються з природного забруднення атмосфери, складаються в основному з неорганічних речовин (наприклад, частинки ґрунтів, попіл, сажа, сіль, продукти вивітрювання гірських порід тощо). Натомість забруднювачі антропогенного походження містять як неорганічні, так і органічні, більшість з яких токсичні, речовини (Гвоздарьова, 2024).

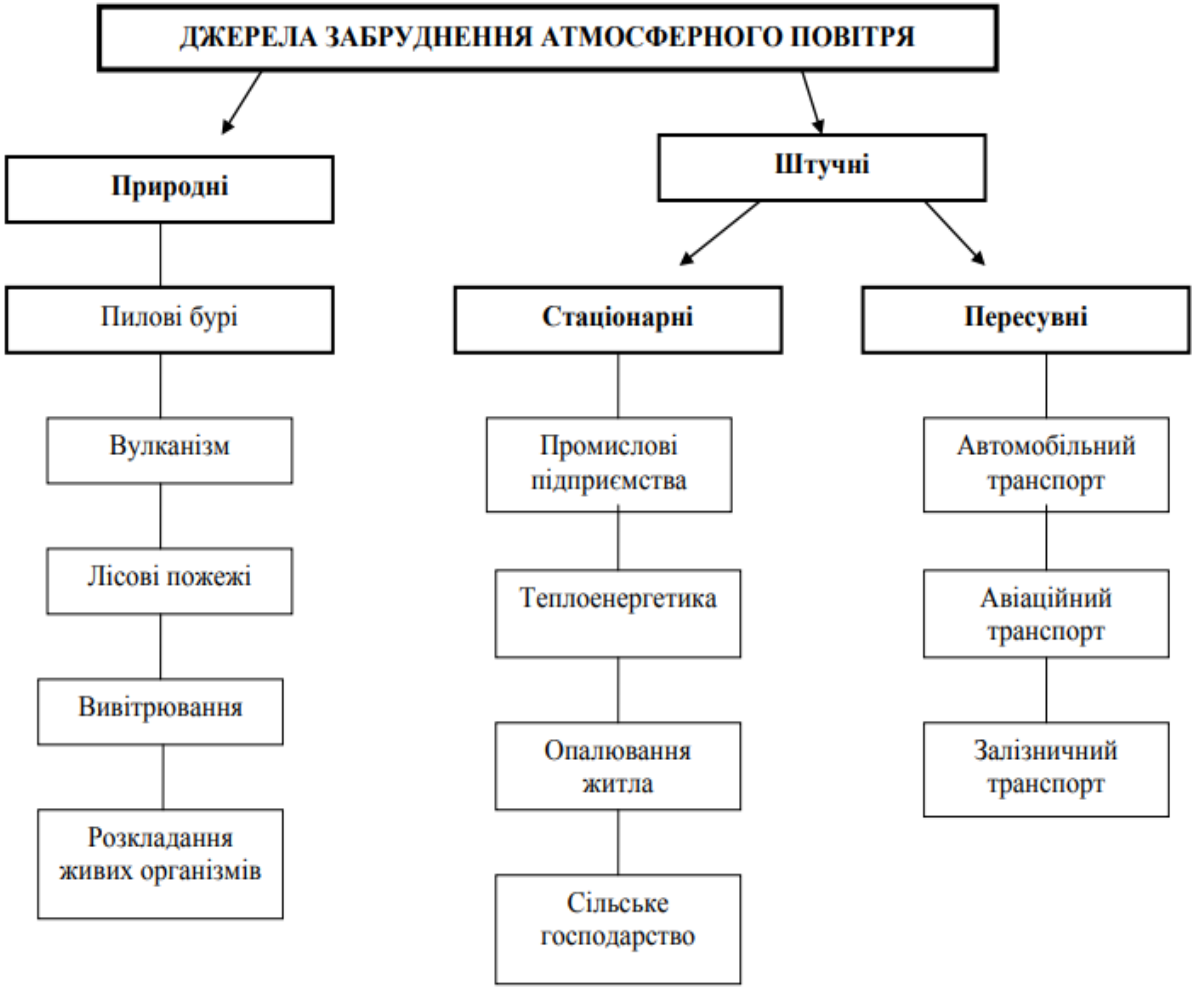


Рис. 1.9. Джерела забруднення атмосферного повітря

Найпоширенішими формами забруднювачів атмосфери, які надходять в повітря, є зважені частинки (аерозолі) або газоподібні, які за питомою вагою становлять найбільшу частку (80...90 % від всіх викидів, що надходять в атмосферу). Наведемо коротку характеристику основних забруднювальних речовин антропогенного походження (Чернецька, 2024).

Зважені завислі частинки (аерозолі) являють собою динамічне поєднання (хімічний комплекс) крапель рідини і твердих дрібних частинок, які перебувають у вигляді суспензії у завислому стані в атмосфері. Для людського ока вони невидимі, оскільки їх розміри коливаються в межах від кількох нанометрів до сотні мікрометрів. Втім, не дивлячись на їх здавалося б малі розміри, такі аерозольні комплекси створюють негативний вплив на здоров'я людини, а також погіршують видимість і завдають шкоди архітектурним спорудам. Рівень дисперсії завислих речовин має суттєве гігієнічне значення, оскільки обумовлює вплив на людський організм та тривалість їх перебування у атмосфері. Очевидно, що менші розміри аерозольних частинок довше знаходитимуться у завислому стані у повітрі (в порівнянні з більшими за розміром) і легше долатимуть відстань від джерела викиду. Більші за розмірами частинки осаджуються, затримуватимуться у верхніх дихальних шляхах. Втім досить небезпечними є середньодисперсні, які безперешкодно проникають до альвеол, і, акумулюючись там, провокують розвиток бронхіального та легеневого ураження (Глива та ін., 2024).

Монооксид карбону (або чадний газ) – за звичних умов безбарвний газ, що утворюється при неповному згорянні вуглецевих речовин, та є найпоширенішою домішкою повітря. Утворюється під час експлуатації автотранспорту (при неповному згорянні палива у результаті роботи двигунів внутрішнього згорання), у процесі горіння твердих побутових відходів, викопного палива (вугілля) з викидами промислових підприємств, при нестачі O_2 в опалюваних приладах тощо. Оксид карбону є сполукою, що активно взаємодіє з іншими компонентами атмосфери. В планетарному масштабі негативний вплив СО обумовлений його приналежністю до парникових газів,

що обумовлюють формування парникового ефекту, і, зазвичай, частка оксиду вуглецю є найвищою. Дослідниками встановлено, що максимальні рівні CO фіксуються на ділянках вулиць з інтенсивним трафіком автотранспорту, особливо в період автомобільних корків (Кагукіна, Пацева, 2024).

Чадний газ потрапляючи у кров людини з'єднується з гемоглобіном, утворюючи стійку сполуку – карбоксигемоглобін (HbCO) і робить її нездатною транспортувати кисень організмом, що спричиняє загибель людини гине від задухи. Небезпека полягає ще й у тому, що чадний газ має кумулятивні властивості і впливає на людину навіть у невеликих концентраціях (Волкова, Севальнев, 2024).

Діоксид сульфуру (також відомий як сірчистий ангідрид) за звичайних умов являє собою безбарвний газ з різким неприємним запахом. Основними джерелами потрапляння в приземний шар атмосферного повітря є спалювання сірковмісного палива, органічних залишків в гірничорудних відвалах переробка сірчистих руд, викиди ТЕС (ТЕЦ), автотранспорту, комунально-побутового сектору. Він є другим другим забруднювачем атмосфери після вуглекислого газу. В глобальному масштабі шкідливість забруднення атмосфери полягає у формуванні кислотних опадів. Перевищення ГДК впливає на розвиток хвороб дихальної системи та шкіри (Гвоздарьова, 2024).

Сірководень та сірковуглець – потрапляють у атмосферне повітря як по-одинокі, так і в комплексі з іншими сполуками сульфуру. При взаємодії з іншими забруднювачами можуть повільно окислюватися до сірчаного ангідриду. Джерелами викидів, зазвичай, стають підприємства, які виробляють цукор, штучні волокна, а також нафтопереробні та коксохімічні.

Сполуки оксидів азоту NO_x (залежно від ступеня окиснення бувають: газоподібні NO , N_2O , NO_2 , та тверді N_2O_3 , N_2O_5). Основними джерелами надходження оксидів азоту в довкілля є як природні (виверження вулканів, розряди блискавки, діяльність мікроорганізмів), так і антропогенні (викиди хімічної промисловості, вибухових речовин, виробництво нітратної кислоти, мінеральних добрив, бактеріальний розклад силосу тощо; і суттєва частка

належить викидам автотранспорту).

Різні форми оксидів азоту можуть переходити від однієї до іншої (наприклад, NO_2 зберігається в повітрі в середньому ~ 3 доби, а при взаємодії з водяною парою утворюється азотна кислота чи інші нітрати, які з опадами осідають на поверхню землі). Сам NO_2 є вторинною домішкою, утвореною внаслідок фотохімічних реакцій. Потрапляючи у атмосферу викиди більшості оксидів азоту перетворюються у діоксид нітрогену, а решту можуть тривалий зберігатися у атмосфері. Тому, зазвичай, викиди оксидів азоту розраховують в перерахунку на NO_2 (Кагукіна, Пацева, 2024).

Науковцями повідомляється, що рівні оксидів азоту в урбоекосистемах безпосередньо пов'язані з інтенсивністю руху автотранспорту в поєднанні із сонячною погодою. Так, доведено, що у світловий час доби (на відміну з темновим) рівні оксиду азоту зростають в рази, що є результатом фотохімічного окислення цієї сполуки.

Оксиди азоту є джерелом формування кислотних опадів, які в подальшому в місці випадіння підкислюють місцеві ґрунтового і водне середовища. Високі концентрації негативно впливають на стан рослинності, провокуючи розвиток некрозів листя та уповільнення фотосинтезу. Також сполуки NO_x беруть участь у формування фотохімічного смогу, а в стратосфері (пройшовши низку фотохімічних трансформацій) впливають на утворення озону O_3 (Гвоздарьова, 2024).

Вплив оксидів азоту на здоров'я людини пов'язаний з розвитком низки респіраторних захворювань. NO_2 є дратівливим газом, який може викликати кашель, біль у грудях, задишку (Кагукіна, Пацева, 2024).

Сполуки фтору. Найпоширенішими забруднювачами атмосферного повітря є газові форми – фтороводень, подекуди пил фториду кальцію і натрію. Джерелами надходження в атмосферу виступають підприємства з виготовлення емалей, скла, кераміки, алюмінію, сталі, фосфорних добрив. Похідні фтору володіють сильними інсектицидними властивостями. Реагуючи з водою, утворює фтористоводневу кислоту, яка потрапляючи у водойми

підкислює їх. Усі сполуки фтору характеризуються токсичним ефектом для людини. Фтористий водень у вигляді газу дуже токсичний при контакті зі шкірою, очима, ковтанні чи вдиханні. Останнє завдає шкоди легеням, ниркам, серцю і, зрештою, може призвести до летального випадку (Волкова, Севальнєв, 2024).

Сполуки хлору – у атмосферному повітрі знаходяться у вигляді парів соляної кислоти або як домішки хлору. Джерелами забруднення є хімічні підприємства, що виробляють хлорвмісні пестициди, соляну кислоту, органічні фарбники, хлорне вапно, соду, гідролізний спирт, при синтезі ліків, різних хлоридів та інгібіторів корозії, а також для дублення, очищення, рафінування, виробництва і гальванічного покриття твердого металу. Токсичність С1 визначається видом з'єднань і їх концентраціями. Хлористий водень є негорючим безбарвним газом, що не реагує з водою, втім легко розчиняється в ній. Тому в атмосфері, забрудненій хлором, утворюється хлористий водень, який зазвичай присутній у вигляді парів (Yildiz et al., 2024).

Одним із найпоширеніших та небезпечних забруднювачів навколишнього середовища є фенол (Бешляга, Вовкодав, 2019). Основними сферами його використання фенолу є виробництво бісфенолу А та фенолоформальдегідні смоли (>70 % світового споживання). Також феноли потрапляють у навколишнє середовище внаслідок переробки твердого палива, виробництва паперу, лакофарбових матеріалів, клеїв, різних пластмас, в результаті діяльності нафтодобувних, коксохімічних, металургійних, асфальтобетонних заводів, при дефенолізації стічних вод, під час лісових пожеж, а також в результаті біогенних процесів, наприклад життєдіяльності гідробіонтів (Kulakova et al., 2020). Феноли є компонентами вторинних органічних аерозолів, і джерелом утворення яких є спалювання біомаси, вихлопи транспортних засобів, розкладання пестицидів, переробка смоли, видобуток вугілля (Hettiarachchi, Grassian, 2024).

Формальдегід – отруйна канцерогенна токсична речовина, що зустрічається в повітрі у вигляді газоподібної речовини, яка має різкий та

неприємний запах. Синтезується в атмосфері в результаті фотохімічного процесу за дії УФ-випромінювання з інших забруднювальних речовин прекурсорів (ізопрену, метанолу, етилену, метану, стиrolу, етану, 1-бутену, пропілену, толуолу, алкенів C_5-C_8 , диметилсульфіду, окремих ацетиленових вуглеводнів). За звичних умов формальдегід є джерелом природного фонового постійного забруднення, високі показники та перевищення допустимих рівнів якого відмічається у повітрі промислових регіонів. Основними антропогенними джерелами є металургійні та хімічні заводи, викиди підприємств з виготовлення полімерів, меблів, чи будівельних матеріалів, ТЕС, сміттєспалювальних заводів, а також відпрацьовані гази автотранспорту. Може надходити у повітря і в результаті природних процесів (напр., лісові пожежі, життєдіяльності рослин і тварин). Формальдегід провокує низку захворювань дихальної системи, ЦНС, очей, нирки, шкіри, печінки, вражає центральну нервову систему, негативно впливає на генетичний матеріал (навіть з разовою мінімальною інгаляційною дозою $1,3 \times 10^{-5}$ мкг/м³) Tasdemir et al., 2024).

Також значну небезпеку створює забруднення атмосфери важкими металами: плюмбум, кадмій, гідраргіум, нікель, цинк, хром, ванадій, купрум, які стали майже звичними стабільними компонентами повітря промислових місцевостей.

Деякі із шкідливих речовин, що потрапляють у атмосферне повітря, володіють односпрямованою дією, або ефектом сумації. Ефектом сумації володіють, наприклад: фенол і діоксид сірки; діоксид сірки і діоксид азоту; діоксид сірки і сірководень; озон, діоксид азоту і формальдегід тощо (Вовкодав, Бешляга, 2020).

Таким чином, інтенсифікація антропогенної діяльності (особливо розвиток промисловості та збільшення автотранспорту) обумовлює зростання обсягів та різноманітності забруднювальних речовин, що надходять у атмосферне повітря. Останнє спричиняє небезпечні й навіть фатальні наслідки для людини та біосфери загалом.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Об'єкт, предмет та матеріали дослідження

Об'єктом дослідження даної роботи є якість приземного шару атмосферного повітря м. Чернівці.

Предметом дослідження даної роботи є динаміка змін просторово-часових варіацій концентрацій забруднювальних речовин.

Матеріалом дослідження даної роботи послуговувала сукупність даних, представлена для різних міст України, в тому числі й м. Чернівці, у відкритому доступі на веб-порталі Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoring/stan-atmosfernogo-povitrya/chernivtsi/>. Базу екологічних даних сформовано на основі відомостей, отриманих з пунктів спостереження Чернівецького обласного центру з гідрометеорології Державної служби України надзвичайних ситуацій

Загальна сукупність вибірки склала близько 3 000 даних.

Період дослідження – 1 рік, що охопив дані з 01 червня 2023 року по 31 травня 2024 року.

Було проаналізовано відомості по таких основних забруднювальних речовинах:

- 1) завислі речовини (тверді дрібнодисперсні аерозольні частинки, пил),
- 2) діоксид сірки (SO_2),
- 3) монооксид вуглецю (CO),
- 4) діоксид азоту (NO_2),
- 5) оксид азоту (NO),
- 6) фенол ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$),
- 7) фтористий водень (HF),
- 8) формальдегід (CH_2O),
- 9) хлористий водень (HCl).

2.2. Методологія проведення дослідження

При опрацюванні даних визначали усереднені значення по кожному місяці для кожної сполуки і на їх основі середньорічні показники. Також в роботі наведенні медіанні величини, мінімальні та максимальні для кожної сполуки та місяця (табл. 3.1). Дані подано в одиницях вимірювання – мг/м^3 (табл. 3.1) та кратності до гранично допустимої концентрації (далі – ГДК) відповідної забруднювальної речовини (табл. 3.2), встановлені для кожної сполуки ($C_i/\text{ГДК}$). В подальшому отримані результати розрахунків було ранжовано і подано в графічній інтерпретації у вигляді коробкових діаграм (рис. 2.1).

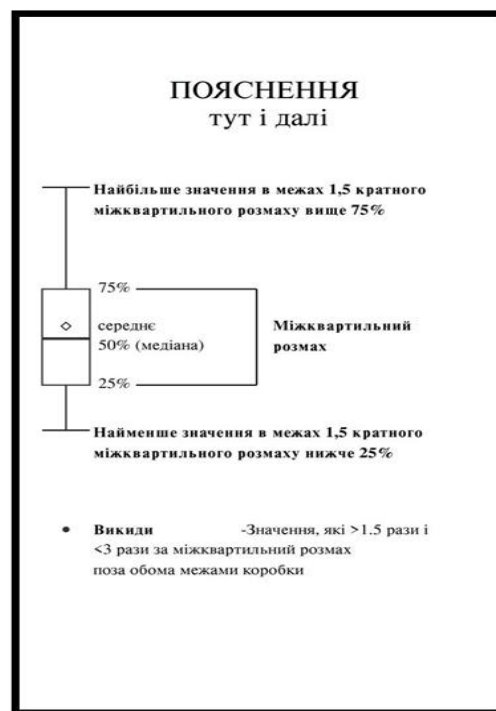


Рис. 2.1. Коробкова діаграма (box diagram), на основі якої подано візуалізацію даних в розділі 3.1

Вважається, що ГДК націлені на оцінку якості атмосферного повітря і, зазвичай, використовуються з метою оцінки санітарно-гігієнічного моніторингу ступеня забруднення атмосферного середовища. Тому, з метою розуміння біологічної дії того чи іншого полютанта на здоров'я людини науковці застосовують референтні концентрації та розраховані на їх основі

показники ризику для здоров'я населення, що в свою чергу, дає змогу з більшою ймовірністю визначити рівень небезпеки забруднення атмосфери для здоров'я суспільства і виокремити сполуки, які потребують першочергової уваги (Сердюк та ін., 2019).

Зважаючи на те, що основними загальноповживаними показниками для оцінки ризику здоров'я забруднювальних речовин та їх канцерогенного впливу є фактори канцерогенного потенціалу, а для сполук із загальнопошкоджуючим ефектом коефіцієнти та індекси небезпеки (Сердюк та ін., 2019), то нами також були розраховані дані параметри.

Під середньою добовою концентрацією впливу (LADD/LADC) / середньою добовою дозою впливу (ADD/ADC) ми розуміли потенційну добову концентрацію/дозу, усереднену за термін дії відповідної хімічної сполуки. Так, наприклад, для канцерогенів період усереднення експозиції становить 70 років.

Термін «ризик для здоров'я» вбачає ймовірність виникнення негативних наслідків для здоров'я як у окремих осіб, так і в групі осіб, які піддалися дії конкретної хімічної сполуки. Характеризується показником, що знаходиться в діапазоні (0...1), де 0 вказує на відсутність ефекту, а 1 – наявність його прояву.

Згідно «Методичних рекомендацій МР 2.2.12-142-2007. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря» (затверджених Наказом МОЗ України від 13.04.07 р. № 184) під поняттям референтна доза (RfD) / референтна концентрація (RfC) розуміють добовий вплив конкретної хімічної сполуки на здоров'я людини, що визначається з урахуванням всіх вивчених наявних наукових даних, згідно яких, імовірність впливу даної речовини не обумовлює розвиток ризику для здоров'я чутливих груп суспільства, тобто це концентрації та дози, які встановлюються лише на основі вивчення прямої дії на здоров'я населення (Методологічні рекомендації ..., 2007).

Для хімічних сполук у додатку 1 «Методичних рекомендацій МР 2.2.12-142-2007» наведено значення референтних концентрацій (RfC) / доз (RfD), із

зазначенням критичних органів / систем органів, першочерговий шкідливий вплив на який здійснює та чи інша речовина (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Фрагмент таблиці із прикладами визначених референтних концентрацій (Rf_C) за відповідної дії забруднювальних речовин повітря

Речовина	CAS	Rf_C , мг/м ³	Джерело	Критичні органи/системи
1	2	3	4	5
Азоту діоксид	10102-44-0	0,04	WHO	Органи дихання
Азотна кислота	4697-37-2	0,04	CalEPA	Органи дихання
Акрилова к-та	79-10-7	0,001	IRIS	Органи дихання
Акрилонітрил	107-13-1	0,002	IRIS	Органи дихання

Згідно літературних джерел для характеристики ризику розвитку неканцерогенних ефектів найпоказовішими є показники максимальної недіючої дози і мінімальної дози, що встановлюють пороговий ефект. На основі цих величин визначаються рівні мінімального ризику, тобто референтні концентрації (Rf_C). Очевидно, що перевищення Rf_C не одразу обов'язково призведе до негативних наслідків, втім чим більший рівень впливу і чим вищий коефіцієнт перевищення Rf_C , тим більше зростає ймовірність виникнення шкідливого впливу. Тому кінцевими оціночними характеристиками експозиції, сформованих на Rf_C , є коефіцієнти небезпеки (HQ) та індекси небезпеки (HI). У випадку допустимості досліджуваної концентрації з Rf_C , не потрібно приймати ніяких регулюючих втручань. Натомість, за умов перевищення Rf_C , що вказує на небезпеку, потрібно приймати відповідні міри.

Дозволяється, у випадку відсутності відомостей про референтні концентрації як еквівалент застосовувати ГДК або ж максимально недіючі рівні чи концентрації, визначені показником прямої дії на здоров'я людини.

У нашій роботі розрахунок неканцерогенного ризику передбачав визначення коефіцієнтів небезпеки та індексів небезпеки. Коефіцієнт

небезпеки (HQ) розраховано як співвідношення концентрації конкретної і-ї речовини до визначеного її референтного (безпечного) рівня впливу на здоров'я людини. Індекс небезпеки (HI) розраховано як суму коефіцієнтів небезпеки (HQ) для хімічних сполук з однорідним механізмом дії на здоров'я людини або як суму HQ для різних шляхів надходження відповідної хімічної сполуки.

Оцінку ризику виникнення неканцерогенних ефектів здійснювали шляхом порівняння фактичних концентрацій експозиції з референтними (безпечними) концентраціями впливу та з подальшим визначенням коефіцієнта небезпеки (HQ) (формула 2.1):

$$HQ = AC / Rf_C \quad (2.1)$$

де: HQ – коефіцієнт небезпеки; AC – значення усередненої концентрації, мг/м³; Rf_C – значення референтної концентрації, мг/м³.

Отримані значення коефіцієнта небезпеки (HQ) співставляються з 1, на підставі чого роблять висновки (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Критерії для характеристики неканцерогенного ризику коефіцієнта небезпеки

Оцінка ризику	Значення коефіцієнта небезпеки (HQ)
Низька ймовірність виникнення шкідливих ефектів	< 1
Гранична межа, яка не передбачає термінових заходів, втім є не варто ігнорувати і є насторожуючим показником	1
Висока ймовірність розвитку шкідливих ефектів, яка збільшується пропорційно значенням HQ	> 1

Як приклад розрахунку HQ неканцерогенного ризику, обумовленого забрудненням повітря діоксидом нітрогену

У випадку, коли середня концентрація діоксиду нітрогену у атмосферному повітрі становить $0,101 \text{ мг/м}^3$, а її референтне значення визначено на рівні $0,04 \text{ мг/м}^3$, то розрахунок коефіцієнта небезпеки, який характеризуватиме ризик виникнення неканцерогенного ефекту за дії NO_2 , виглядатиме наступним чином:

$$\text{HQ} = C / \text{Rf}_C = 0,101 \text{ мг/м}^3 / 0,04 \text{ мг/м}^3 = 2,525$$

Отже, можна зробити висновок, що неканцерогенний ризик для здоров'я людини за дії діоксиду нітрогену в повітрі з концентрацією $0,101 \text{ мг/м}^3$ не можна вважати допустимим, і визначено, що існує ймовірність розвитку шкідливих ефектів для здоров'я населення.

Для оцінки комбінованої дії хімічних речовин на ймовірність виникнення неканцерогенних ефектів рекомендовано визначати індекс небезпеки за формулою 2.2:

$$\text{HI} = \sum \text{HQ}_i \quad (2.2),$$

де: HQ_i – коефіцієнт небезпеки для кожної окремої речовини.

Розрахунок HI, зазвичай, передбачає визначення критичних органів та систем, які першочергово піддаються негативному впливу досліджуваних сполук. Згідно наукових досліджень, за комбінованого впливу компоненти суміші проявляють ефект сумації (адитивність) одні й ті ж органи або системи органів. На думку фахівці даний підхід можливо і перебільшує небезпеку для здоров'я людини, втім дозволяє краще зрозуміти шкідливий вплив у порівнянні з роздільною оцінкою кожного окремого компонента.

Наведемо приклад обчислення сумарного неканцерогенного ризику (HI), який враховує вплив на критичні органи та системи органів людини, що першочергово піддаються негативній дії забруднювальних речовин. Дані наведено у вигляді таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Приклад обчислення інтегрованого показника сумарного
неканцерогенного ризику (НІ)

Речовина	Концентрація	Rf _c	HQ	Критичні органи / системи органів
X	0,010	0,05	0,2	нирки
Y	20	5	4,0	печінка
Z	0,12	0,4	0,3	нирки
W	0,08	0,4	0,2	печінка
Сумарний ризик		НІ _{загальний}	4,7	
		НІ _{нирки}	0,5	
		НІ _{печінка}	4,2	

Як бачимо, найбільш суттєвий внесок у сумарну величину (НІ) відповідно і в частку ризику на здоров'я, має речовина Y, здійснюючи негативну дію на нирки. А найменш значимий вплив для здоров'я належить речовинам X та W.

Також нами був розрахований комплексний індекс забруднення атмосфери (ІЗА), який широко використовують для порівняльної оцінки забруднення атмсоферного повітря між різними місцевостями та встановлення їх пріоритетності і тенденцій забрудненості. ІЗА є відносним параметром, його показник залежить від концентрації досліджуваної конкретної речовини в аналізованій точці, відповідної ГДК та сукупної кількості забруднювальних досліджуваних речовин в атмосфері.

В основі обчислення комплексного ІЗА лежать наступні положення: шкідливий вплив на здоров'я людини, залежить від конкретних досліджуваних поліутантів та класу їх небезпеки; зі збільшенням кратності перевищень ГДК відповідної сполуки, підвищується рівень небезпеки впливу на здоров'я.

Рівень ступеню забрудненості атмосфери конкретною забруднювальною речовиною представлений через парціальний індекс забрудненості (ІЗА):

$$K_i IZA_i = (C_i / ГДК_i) \quad (2.3)$$

де: C_i – середнє значення концентрації досліджуваної речовини, $ГДК_i$ – середньодобове значення гранично допустимої концентрації відповідної досліджуваної речовини, K_i – константа (безрозмірна), що прирівнює ступінь шкідливості досліджуваної речовини до шкідливості сірчистого газу.

Усереднене значення константи з урахуванням класу небезпеки речовини подано в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Усереднені показники константи з урахуванням класу небезпеки речовини

Характеристика класу небезпеки речовини	Клас небезпеки	Константа
Надзвичайно небезпечна	1	1,5
Високо небезпечна	2	1,3
Помірно небезпечна	3	1,0
Мало небезпечна	4	0,85

В подальшому при обчисленні комплексного ІЗА прийнято до уваги брати показники 5-ти парціальних індексів ІЗА (визначених для полютантів з найвищими значеннями) за формулою 2.4.

$$IZA_5 = \sum_{i=1}^5 IZA_i \quad (2.4)$$

Згідно отриманих значень, роблять висновок про забруднення атмосферного повітря за наступною градацією (табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Якість повітря, визначена за показником комплексного індексу забруднення атмосфери 5-ти парціальних індексів

Значення $IZA_{(5)}$	Якість атмосферного повітря
$< 2,5$	чисте
$2,5 - 7,5$	слабко забруднене
$7,5 - 12,5$	забруднене
$12,5 - 22,5$	сильно забруднене
$22,5 - 52,5$	високо забруднене
$> 52,5$	екстремально забруднене

Методологічною основою дослідження стало математично-статистичне опрацювання даних за допомогою комп'ютерних програм Exel та Statistica 6.0.

Нами було здійснено також кореляційний та регресійний аналізи. При цьому. У наукових дослідженнях найбільш загальновідомою мірою залежності між двома величинами є коефіцієнт кореляції. У статистиці кореляція (англ. *correlation*) або залежність (англ. *dependence*) – це будь-який статистичний взаємозв'язок, причинний чи ні, між двома випадковими змінними або двовимірними даними. По суті, кореляція – це міра того, як дві чи більше змінні пов'язані одна з одною (Кореляція..., 2024). Візуалізацію кореляційного аналізу ми подали у вигляді теплограми кореляційних матриць, із зазначенням величин сили зв'язків. За напрямом кореляційно залежні зв'язки бувають прямі та зворотні. Перші вказують на те, що зі зростанням величини однієї ознаки (X), збільшується й інша ознака (Y). Натомість другі свідчать, що при збільшенні величини однієї ознаки (X), зменшується величина іншої ознаки (Y).

При визначення залежності однієї величини від іншої використовують регресійний аналіз, який, на відміну від кореляційного аналізу не з'ясовує силу зв'язку, а націлений на пошук моделі цього зв'язку, вираженої у функції регресії. Регресійний аналіз використовується в тому випадку, якщо відношення між змінними можуть бути виражені кількісно у виді деякої комбінації цих змінних. Отримана комбінація використовується для передбачення значення, що може приймати цільова (залежна) змінна, яка обчислюється на заданому наборі значень вхідних (незалежних) змінних. У найпростішому випадку для цього використовуються стандартні статистичні методи, такі як лінійна регресія (Регресійний аналіз..., 2024). Візуалізацію регресійного аналізу ми подали у вигляді рівнянь залежності з коефіцієнтами їх детермінації, що вказують на ступінь сили їх прояву.

Для статистичного аналізу вибір програмного забезпечення був зроблений з урахуванням наступних положень: гнучкість та можливості програмування; наявність значного числі баз бібліотек, що дає змогу

автоматизувати багато алгоритмів (наприклад, групування вибірок, розрахунок днів, розділення в окремі варіативні стовпці/рядки пакету з циклічного набору параметрів і т.д.); багаточисельний масив даних, отриманих від станції моніторингу якості повітря (~ 3 тис показників), який в табличних редакторах є значно трудомісним і унеможливорює коректну роботу з ними; безкоштовність програмного забезпечення, його кросплатформеність; якісні об'ємна візуалізація результатів аналізу у вигляді різноманітних теплограм, діаграм, графіків, тощо); багато компаній та науково-економічних установ, підприємств і організацій використовують статистичні програмні пакети для аналізу даних і їх моделювання.

Сукупність отриманих даних нами була проаналізована і за допомогою деяких популярних апостеріорних тестів (Руденко та ін., 2019). Спершу нами здійснено дисперсійний аналіз (ANOVA) із застосуванням тесту Тьюкі (Tukey test). Втім результати продемонстрували низькі р-значення для кожного порівняння, а відмінності між парами виявилися настільки незначними, що навіть після поправки на множинні порівняння тест Тьюкі не показав статистично достовірної різниці (р-значення $>0,05$). Тому в подальшому ми здійснили аналіз парного t-тесту за критерієм Стьюдента (t-test Student's) з поправкою Бонферроні (Bonferroni correction) на множинні порівняння.

2.3. Фізико-географічні та природно-кліматичні особливості регіону дослідження

м. Чернівці – адміністративний центр Чернівецької області, що знаходиться на південному заході країни і займає площу 153 км². Населення міста нараховує ~265 тис. осіб (станом на 01.01.2022) (Чернівці..., 2024).

Згідно фізико-географічного районування місто знаходиться у східній частині Передкарпаття, на межі між Східноєвропейською рівниною та Карпатами. Місто входить до східноєвропейського часового поясу.

Клімат помірно континентальний. Для місцевості характерні м'які зими та тепле літо. Як правила, зимовий період починається 28 листопада і триває до 9 березня, а літній – від 20 травня до 10 вересня. Середньорічна температура приземного шару повітря становить $+9\text{ }^{\circ}\text{C}$ з максимумом у липні ($+20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) та мінімумом у січні ($-2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$). Опадів у місті випадає в середньому за рік 630 мм (найменша кількість фіксується у 1-му, 2-му та 10-му місяцях року, а найбільша – у 6-му та 7-му місяцях року). Влітку бувають сильні зливи. Вологість повітря середньорічна становить $\sim 77\%$ (Чернівці..., 2024).

Розподіл земель за їх функціональним призначенням виглядає наступним чином: найбільша частка припадає на землі житлової та громадської забудови (64 %), решта складають с/г землі (17 %), промислові ділянки (9 %), землі рекреаційного та природоохоронного призначення (5 %), землі комерційного призначення (3 %) та землі загального користування (3 %).

На території міста протікає річка Прут – головна водна артерія, а також 6 малих річок-струмків. Також на території м. Чернівці розташовані 9 озер.

На значній території міста знаходиться багато парків, скверів, садів, алей, квітників, окремих реліктових чи ендемічних груп дерев тощо. З них 9 об'єктів мають статус пам'яток садово-паркового мистецтва. Також на території міста знаходиться 1 ботанічний сад ЧНУ ім. Ю. Федьковича (Чернівці..., 2024).

Основними забруднювачами довкілля в м. Чернівці є промислові підприємства (з яких $\sim 40\%$ від загальної кількості по області) знаходяться саме в м. Чернівці та виступають основними забруднювачами довкілля. У атмосферне повітря щорічно викидається $\sim 1,2$ т забруднюючих речовин ($\sim 35\%$ від загального обсягу викидів по області). Згідно статзвітності у структурі поллютантів атмосфери домінують монооксид карбону, неметанові леткі органічні сполуки, а також речовини у вигляді дрібнодисперсних твердих частинок. Уже понад двадцять років вагомим чинником негативного впливу на стан довкілля є транспорт, викиди якого зросли десятки разів і продовжують збільшуватися.

Рельєф міста характеризується значними перепадами, змінюючись від 150 м н.р.м. (наприклад, у долинах р. Прут) до 537 м н.р.м. у західній частині (наприклад, пагорби Чернівецької височини, г. Цецино). Такий глибоко розчленований, горбистий рельєф (з перепадами висот >50 м) м. Чернівці формує застійні для провітрювання зони і відповідні мікрокліматичні контрасти. Тому врахування особливостей рельєфу та оцінка його впливу на забруднення є пріоритетним напрямом при моделюванні прогнозованого стану якості атмосферного повітря (Явків, Круль, Брик, 2021).

Значна вертикальна і горизонтальна розчленованість рельєфу в межах міста не лише обумовлює швидкість та напрям транспортування потоків забрудненого повітря, а й впливає на формування частих інверсій температури, деяких спотворень його континуальності, пилових туманів тощо, що в сукупності виступає сприятливими умовами для накопичення максимальних концентрацій шкідливих речовин.

У м. Чернівці на рівень забруднення повітря та розповсюдження викидів, зокрема автотранспорту, вплив має повторюваність штилів і слабких вітрів. Так, згідно (Явків, Круль, Брик, 2021) повторюваність штилів в м. Чернівці складає 18 % за рік. Найчастіше слабкі вітри і штилі відмічаються в літній період та на початку осені (в період формування антициклональної погоди).

Суттєвий вплив на забруднення атмосферного повітря мають і опади. Останні осаджують забруднюючі речовини із дощем та водночас вимивають їх. Під час осадження аерозолі виступають ядрами конденсації крапель дощу, в подальшому інфільтруючись у ґрунтове середовище чи стікають у вуличних тимчасових потоках. Для міста вимивання стає основним процесом, який очищає повітря. Так, помічено, що при сильній зливі вміст аерозольних частинок може за 15 хвилин зменшитися вдвічі, натомість за аналогічних умов при слабкому дощі – це може відбутися за 2-і години (Явків та ін., 2021).

Специфічним є і вплив туманів на забруднення атмосфери м. Чернівці. Тумани часто супроводжуються інверсіями в поєднанні зі слабкими вітрами та штилями, що обумовлює зростання токсичності деяких речовин в розчині

води та формує небезпечні умови для перевищення ГДК забруднювальних речовин в приземному шарі атмосферного повітря. Так, згідно (Явків, Круль, Брик, 2021) в середньому в м. Чернівці протягом року число днів з туманами становить 42 дні.

Загалом в м. Чернівці процеси часової та просторової варіації рівня забруднення приземного шару атмосферного повітря визначаються: особливостями рельєфу та відмінностями забудови міста, розподілом інтенсивності руху автомобілів, особливістю експозиції вулиць, значною величиною кутів похилу (крутизни) вулиць, щільністю твердого покриття міста, мікродепресіями автошляхів (Явків, Круль, Брик, 2021).

Таким чином, мінливості концентрацій забруднювальних речовин в м. Чернівці значним чином обумовлені: наявністю багаторічних джерел викидів (в т. ч. історичних); функціональним типом району; вентиляцією; кліматом (класами погод); рівнем реальної та потенційної запиленості; розмірами міста (перш за все, географічними); наявністю зон атмосферної трансформації тощо.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1. Дослідження динаміки змін вмісту політантив у атмосферному повітрі м. Чернівці на основі сукупності відкритих даних

Як впливає з преамбули Закону України «Про охорону атмосферного повітря», атмосферне повітря є одним з основних життєво важливих елементів природного навколишнього середовища. Виступаючи посередником між людиною і природним середовищем, воно є важливою умовою безпечного і тривалого існування людини та біоресурсів на Землі, а погіршення його якості обумовлює негативний системний вплив як на довкілля, так і на здоров'я людини. Так, низкою досліджень продемонстровано кореляційний зв'язок між погіршенням якості атмосферного повітря та виникненням низки захворювань у людини (Волкова, Севальнєв, 2024).

Україна є однією з країн Європейського союзу, де реєструються високі рівні забруднення приземного шару повітря, і за останні роки, зокрема, за період воєнних дій на її території, відмічається суттєве погіршення екологічного стану атмосферного повітря. Обстріли, знешкодження ворожих ракет та мін, горіння нафтопродуктів, пожежі у лісах і домогосподарствах, наступ важкої боєвої техніки тощо – в сукупності це формує утворення додаткових надходжень в атмосферне повітря небезпечних речовин (Дудоров, Письменський, 2024). Відповідно, за таких умов забруднення атмосфери стає загрозою здоров'ю виявляючи неканцерогенний і канцерогенний ризик (Волкова, Севальнєв, 2024).

Крім того, щоденна діяльність агропромислового комплексу України також вносить вагому лепту надходження в атмосферу шкідливих речовин (наприклад таких як оксиди нітрогену, сульфуру, вуглеводні, важкі метали). Останнім часом, зокрема в західному регіоні, помітно зросли обсяги викидів від транспортних засобів, що містять велику кількість твердих часток, вуглеводнів, оксидів азоту та інших шкідливих речовин. Експлуатація побутової техніки, переробка відходів, опалення будинків та інші аспекти

господарсько-побутового життя населення також впливають на якість повітря, обумовлюючи, перш за все, потрапляння вуглекислого газу та низки інших хімічних речовин. Ще одним вагомим джерелом поллютантів є сільське господарство: наприклад, використання пестицидів, мінеральних добрив та інших хімічних речовин обумовлює викиди аміаку, оксидів нітрогену, метану тощо (Гвоздарьова, 2024). Тому своєчасна коректна оцінка динаміки поллютантів на стан здоров'я є вкрай необхідною.

Значну увагу цьому приділяє Всесвітня організація охорони здоров'я. Так остання, звернула увагу на дослідження забруднення атмосфери монооксидом вуглецю, твердими частинками, діоксидом нітрогену, діоксидом сірки і озоном, які проявляють загальне планетарне значення. ВООЗ вказує і на дослідження й інших не менш значимих шкідливих речовин у повітрі (Антощенков та ін., 2024).

Отож, зважаючи на вище викладене нами було проаналізовано вміст таких основних забруднювальних речовин атмосферного повітря м. Чернівці як: завислі речовини, діоксид сірки, монооксид вуглецю, діоксид та оксид азоту, фенол, формальдегід, фтористий та хлористий водень.

Спершу нами проаналізовано динаміку змін та відповідність рівням ГДК вмісту дрібнодисперсних аерозольних частинок. Так, в результаті нашого аналізу виявлено, що концентрація завислих речовин в атмосферному повітрі м. Чернівці в середньому за період з червня 2023 р. по травень 2024 р. коливалася в діапазоні 0,005-0,053 мг/м³, тобто кратність відмінностей між максимальними усередненими значеннями (які зафіксовані у листопаді) та мінімальними (які зафіксовані у грудні і травні) становить ~10 раз. Втім, перевищень діючих в Україні допустимих норм не зафіксовано (рис. 3.1, 3.10, табл. 3.1, 3.2).

Варто відмітити, що на загальному фоні даних прослідковується деяка сезонна тенденція щодо збільшення концентрацій пилу в осінній період, зокрема, в жовтні-листопаді.

Таблиця 3.1

**Середні концентрації досліджуваних забруднювальних речовин в атмосферному повітрі м. Чернівці
за період з червня 2023 р. по травень 2024 р., мг/м³**

Забруднювальні речовини		Завислі речовини	Діоксид сірки	Оксид вуглецю	Діоксид азоту	Оксид азоту	Фенол*	Фтористий водень*	Хлористий водень	Формальдегід
Хімічна формула		-	SO ₂	CO	NO ₂	NO	C ₆ H ₆ O	HF	HCl	CH ₂ O
Клас небезпеки		3	3	4	2	3	2	2	2	2
Середньодобова ГДК, мг/м ³		0,15	0.05	3	0,04	0,06	0.003	0.005	0.2	0.003
Референтна концентрація, RfC		0.10	0.05	3.00	0.04	0.06	0.01	-	-	0.003
Червень	Усереднена за місяць	0.025	0.003	0.095	0.015	0.003	0.063	0.037	0.071	0.041
	ME	0.017	0.002	0.000	0.013	0.002	0.062	0.021	0.053	0.039
	Max	0.100	0.014	0.400	0.026	0.016	0.148	0.229	0.185	0.145
	Min	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Липень	Усереднена за місяць	0.015	0.002	0.124	0.012	0.006	0.111	0.322	0.034	0.067
	ME	0.000	0.001	0.000	0.012	0.003	0.105	0.204	0.028	0.062
	Max	0.133	0.006	0.500	0.026	0.024	0.332	1.321	0.110	0.168
	Min	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015
Серпень	Усереднена за місяць	0.013	0.002	0.114	0.015	0.004	0.138	0.060	0.062	0.043
	ME	0.000	0.002	0.000	0.014	0.003	0.083	0.033	0.035	0.034
	Max	0.100	0.007	0.750	0.034	0.012	0.410	0.258	0.194	0.119
	Min	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
Вересень	Усереднена за місяць	0.015	0.003	0.154	0.022	0.005	0.157	0.023	0.085	0.037
	ME	0.017	0.002	0.000	0.022	0.003	0.091	0.000	0.070	0.032
	Max	0.050	0.008	0.667	0.037	0.020	1.015	0.165	0.265	0.121
	Min	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Жовтень	Усереднена за місяць	0.032	0.002	0.240	0.027	0.004	0.154	0.036	0.122	0.044
	ME	0.033	0.002	0.167	0.028	0.003	0.107	0.024	0.101	0.032
	Max	0.080	0.004	0.667	0.040	0.014	0.515	0.118	0.313	0.121
	Min	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016

Листопад	Усереднена за місяць	0.053	0.003	0.526	0.027	0.007	0.059	0.021	0.113	0.009
	ME	0.050	0.003	0.500	0.028	0.005	0.041	0.013	0.110	0.008
	Max	0.083	0.006	1.167	0.044	0.024	0.210	0.085	0.259	0.028
	Min	0.017	0.001	0.167	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Грудень	Усереднена за місяць	0.005	0.002	0.478	0.019	0.002	0.160	0.037	0.110	0.030
	ME	0.000	0.001	0.500	0.019	0.001	0.131	0.000	0.113	0.028
	Max	0.033	0.009	1.500	0.037	0.009	0.520	0.306	0.303	0.093
	Min	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.017	0.000	0.003	0.003
Січень	Усереднена за місяць	0.021	0.002	0.420	0.021	0.002	0.117	0.003	0.096	0.018
	ME	0.025	0.002	0.500	0.020	0.002	0.099	0.000	0.073	0.017
	Max	0.050	0.004	1.333	0.050	0.007	0.497	0.059	0.198	0.039
	Min	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007
Лютий	Усереднена за місяць	0.024	0.002	0.221	0.023	0.005	0.250	0.002	0.073	0.012
	ME	0.033	0.002	0.167	0.019	0.004	0.160	0.000	0.055	0.009
	Max	0.050	0.005	1.167	0.042	0.023	1.180	0.038	0.189	0.043
	Min	0.000	0.001	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Березень	Усереднена за місяць	0.010	0.001	0.192	0.013	0.002	0.141	0.003	0.078	0.005
	ME	0.000	0.001	0.083	0.014	0.001	0.100	0.000	0.071	0.002
	Max	0.050	0.003	1.000	0.032	0.012	0.610	0.023	0.236	0.034
	Min	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Квітень	Усереднена за місяць	0.024	0.002	0.045	0.020	0.008	0.238	0.007	0.095	0.009
	ME	0.017	0.002	0.000	0.020	0.007	0.213	0.000	0.082	0.009
	Max	0.067	0.004	0.333	0.038	0.025	0.720	0.043	0.209	0.027
	Min	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000
Травень	Усереднена за місяць	0.005	0.002	0.031	0.015	0.004	0.188	0.021	0.089	0.012
	ME	0.000	0.002	0.000	0.014	0.002	0.158	0.013	0.087	0.011
	Max	0.033	0.005	0.333	0.034	0.023	0.617	0.115	0.217	0.042
	Min	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Таблиця 3.2

**Середні та сумарні концентрації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі м. Чернівці в
кратності ГДК**

Політанта	Пил	SO ₂	CO	NO ₂	NO	C ₆ H ₆ O	HF	HCl	CH ₂ O	Σ кратність перевищень ГДК
Місяць										
Червень	0.17	0.06	0.03	0.37	0.06	0.21	0.07	0.36	1.35	2.67
Липень	0.10	0.03	0.04	0.31	0.10	0.37	0.64	0.17	2.23	4.00
Серпень	0.09	0.04	0.04	0.39	0.06	0.46	0.12	0.31	1.43	2.94
Вересень	0.10	0.06	0.05	0.55	0.08	0.52	0.05	0.43	1.22	3.06
Жовтень	0.21	0.03	0.08	0.67	0.07	0.51	0.07	0.61	1.48	3.74
Листопад	0.35	0.05	0.18	0.67	0.11	0.20	0.04	0.56	0.30	2.47
Грудень	0.03	0.05	0.16	0.48	0.03	0.53	0.07	0.55	1.00	2.90
Січень	0.14	0.03	0.14	0.52	0.04	0.39	0.01	0.48	0.60	2.35
Лютий	0.16	0.04	0.07	0.57	0.09	0.83	0.00	0.37	0.41	2.54
Березень	0.07	0.02	0.06	0.33	0.04	0.47	0.01	0.39	0.16	1.55
Квітень	0.16	0.05	0.01	0.49	0.13	0.79	0.01	0.47	0.31	2.43
Травень	0.03	0.04	0.01	0.38	0.07	0.63	0.04	0.45	0.40	2.06
В середньому за рік	0.13	0.04	0.07	0.48	0.07	0.49	0.10	0.43	0.91	2,73

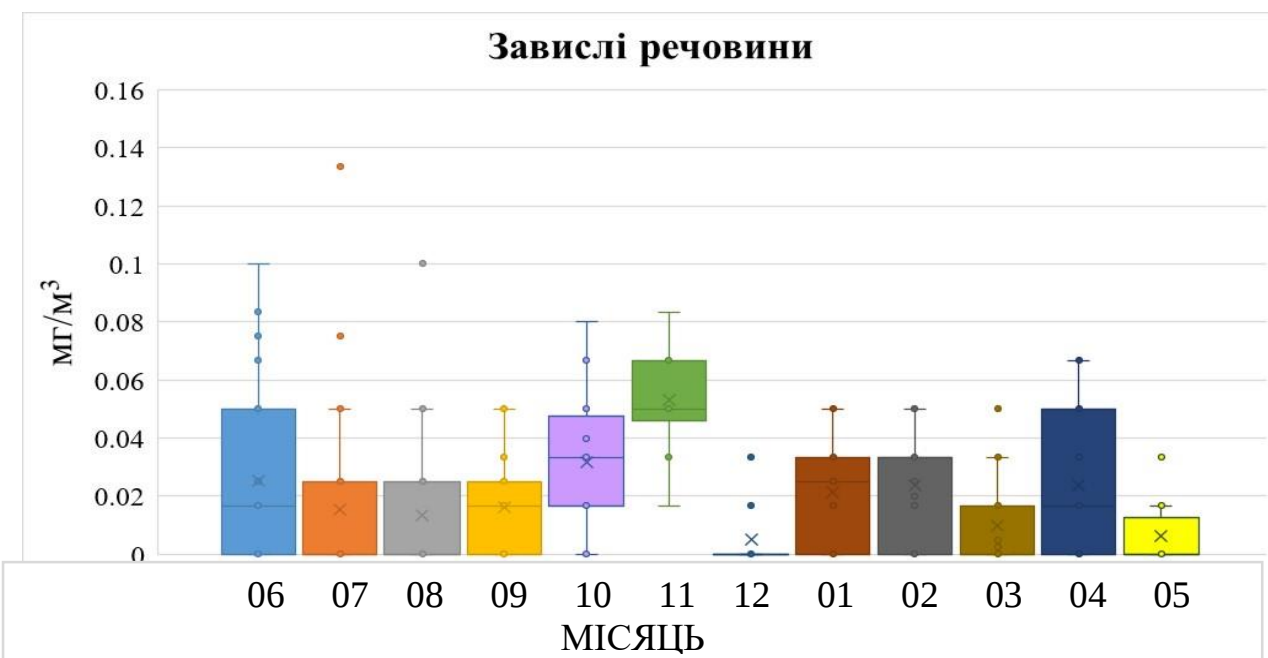


Рис. 3.1. Динаміка річної зміни усереднених концентрацій завислих речовин в атмосферному повітрі м. Чернівці з червня 2023 р. по травень 2024 р., мг/м³

На нашу думку, зміна концентрацій завислих речовин в атмосферному повітрі міста Чернівці пов'язана із деревообробною промисловістю. Адже за останні роки в регіоні відзначається значна активізація даної сфери (ГУС у Чернівецькій області..., 2024; Іщук С.О., Коваль, 2020). У ширшому плані всі операції з деревиною, але найбільше різання, пиляння та шліфування, утворюють частинки різних розмірів у повітрі (Tasdemir et al., 2024; Bruschweiler et al., 2016). Залежно від виконаної діяльності кількість і розмір частинок деревини можуть змінюватися: операції шліфування утворюють більш дрібні частинки та вищу концентрацію пилу, ніж розпилювання; крім того, придатні для дихання частинки утворюються навіть під час найгрубішої обробки деревини (Bruschweiler et al., 2016).

Динаміку змін різкого перепаду завислих речовин можна пояснити змінами (збільшенням чи зменшенням) викидів від пересувних джерел (Пацева, Кагукіна,

2024). Адже, відомо, що джерелом пилу є, як природні фактори (наприклад, пилові бурі, виникнення посушливих кліматичних умов, вулканічна діяльність тощо), так і антропогенні, пов'язані із сільськогосподарською діяльністю, спалюванням відходів і палива (в результаті чого утворюється сажа, зола), інтенсифікацією транспортної експлуатації та деякими видами виробничих процесів (напр., видобуток та переробка будматеріалів тощо) (Чернецька, 2024).

Схожі результати досліджень були виявлені і польськими дослідниками, які фіксували середньорічний вміст твердих аерозольних частинок на рівні 25-41 мкг/м³, реєструючи максимальні значення в зимовий та осінній періоди. Автори це пояснювали збільшенням викидів автотранспорту, промислових підприємств, електростанцій, теплоцентралей, опаленням будівель, а також несприятливими кліматичними умовами (Ziernicka-Wojtaszek, Zuśka, Korcińska, 2024).

Схожі тенденції встановлені і в Китаї на прикладі ~30-ти міст (збільшення пилу взимку, та суттєве зниження влітку), де окрім вище зазначених причин зростання твердих частинок вказуються ще й промислове спалювання вугілля, дорожній пил, перенесення пустельних мас, вітрова ерозія (Fan et al., 2021).

Деякі науковці пояснили зміни рівнів дрібнодисперсних речовин наявністю опадів, які проявляють ефект вологого видалення (особливо крупніших частинок). При цьому авторами виявлена зворотна кореляційна залежність пилу з опадами. Крім того, науковцями показано, що в теплий період року осадження відбувається помірно, а взимку наявність опадів обумовлює зростання концентрацій твердих частинок в повітрі (Liu et al., 2020).

Подібні результати наведено і в містах Польщі (Maciejewska, 2020) та Великої Британії (Galan-Madruga, 2024): відмічено зростання пилу в зимовий та осінній сезони. Ймовірними причинами таких сезонних коливань автори вказують на взаємозв'язок сукупності чинників: зниження температури повітря, атмосферні умови несприятливі для розсіювання, інтенсивне нагрівання внаслідок опалювальної діяльності (Galan-Madruga, 2024; Maciejewska, 2020).

Розглядаючи динаміку змін вмісту діоксиду сірки в атмосферному повітрі м. Чернівці виявлено, що за досліджуваний період дані значення (за усередненими показниками) варіювали у відносно вузьких межах 0,001-0,003 мг/м³, тобто кратність відмінностей між максимумом і мінімумом становить у середньому ~3 рази. Відповідно суттєвих відмінностей між місяцями та сезонами не виявлено. Щоправда, найчастіше статистично достовірна відмінність встановлена для концентрацій, зафіксованих у березні місяці в порівнянні з деякими літніми, зимовими та весняними місяцями (в сторону їх відносно менших нижчих середніх рівнів). Загалом впродовж року отримані величини відповідали вимогам ГДК (рис. 3.2, 3.10, табл. 3.1, 3.2). Як зазначають науковці, SO₂ – газ, який утворюється під час Спалювання біомаси (Юрченко та ін., 2024), вугілля та нафти у промислових процесах (Гвоздарьова, 2024).

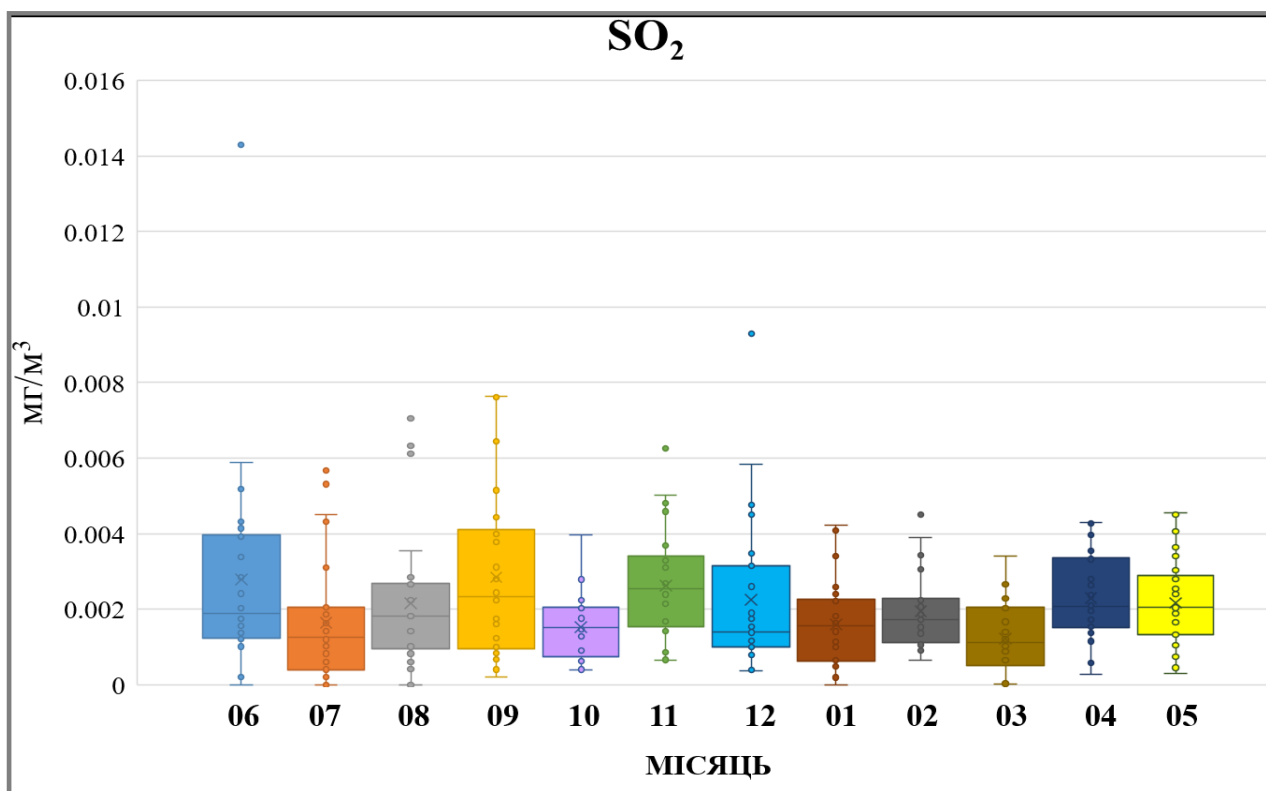


Рис. 3.2. Динаміка річної зміни усереднених концентрацій діоксиду сірки в атмосферному повітрі м. Чернівці з червня 2023 р. по травень 2024 р., мг/м³

Аналізуючи динаміку змін монооксиду вуглецю в атмосферному повітрі м. Чернівці, встановлено, що у середньому зафіксовані значення варіювали у відносно широких межах – від 0,031 мг/м³ до 0,526 мг/м³ (табл. 3.1, рис. 3.3). Останній, тобто максимальний вміст СО, зареєстровано у листопаді, натомість мінімальний вміст СО встановлено у травні місяці і кратність відмінностей між ними становить у середньому ~17 разів. Проте, перевищень допустимого вмісту СО у атмосферному повітрі за досліджуваний період не виявлено (табл. 3.2). Також помічено і сезонні відмінності, зокрема, спостерігається підвищення рівня оксиду вуглецю у осінньо-зимовий період (частково захоплено і весняні, наприклад, березень). Дане явище, найімовірніше, обумовлено опалювальним сезоном (Кагукіна, Пацева, 2024). Адже, відомо, що чадний газ утворюється під час експлуатації транспортних засобів в результаті неповного згоряння вуглеводнів, біомаси, викопного палива (Гвоздарьова, 2024), спалювання в котельнях, домашніх печах, камінах, ТЕС, ТЕЦ, в результаті нафтопереробної та металургійної діяльності (Чернецька, 2024). Крім того, повідомляється і про його суттєве збільшення після лісових та різного роду пожеж, спровокованими останнім часом внаслідок воєнних дій (Кагукіна, Пацева, 2024). Зокрема, під час детонації артилерійських снарядів, ракет та мін в атмосферу викидається низка хімічних речовин: вуглекислий газ, монооксид карбону, водяна пара, формальдегід, пари ціанистої кислоти, азот та його закис, діоксид і монооксид, і ще ціла низка небезпечних органічних речовин. Основну частку становлять нібито нетоксичні речовини – вуглекислий газ і водяна пара – втім, вони створюють небезпеку в якості парникових ефектів, обумовлюючи зміну мікрокліматичних умов (Васенко, Черба, 2024).

Однією з найбільш шкідливих практик в Україні залишається спалювання біомаси (особливо восени та навесні, коли люди прагнуть позбутися залишків рослинності та відходів). Даний процес є дуже шкідливим, адже крім СО в повітря потрапляють і деякі токсичні речовини часткового та повного згоряння

біомаси, як наприклад, оксиди нітрогену та сульфуру, летка зола і т.д. (Юрченко та ін., 2024).

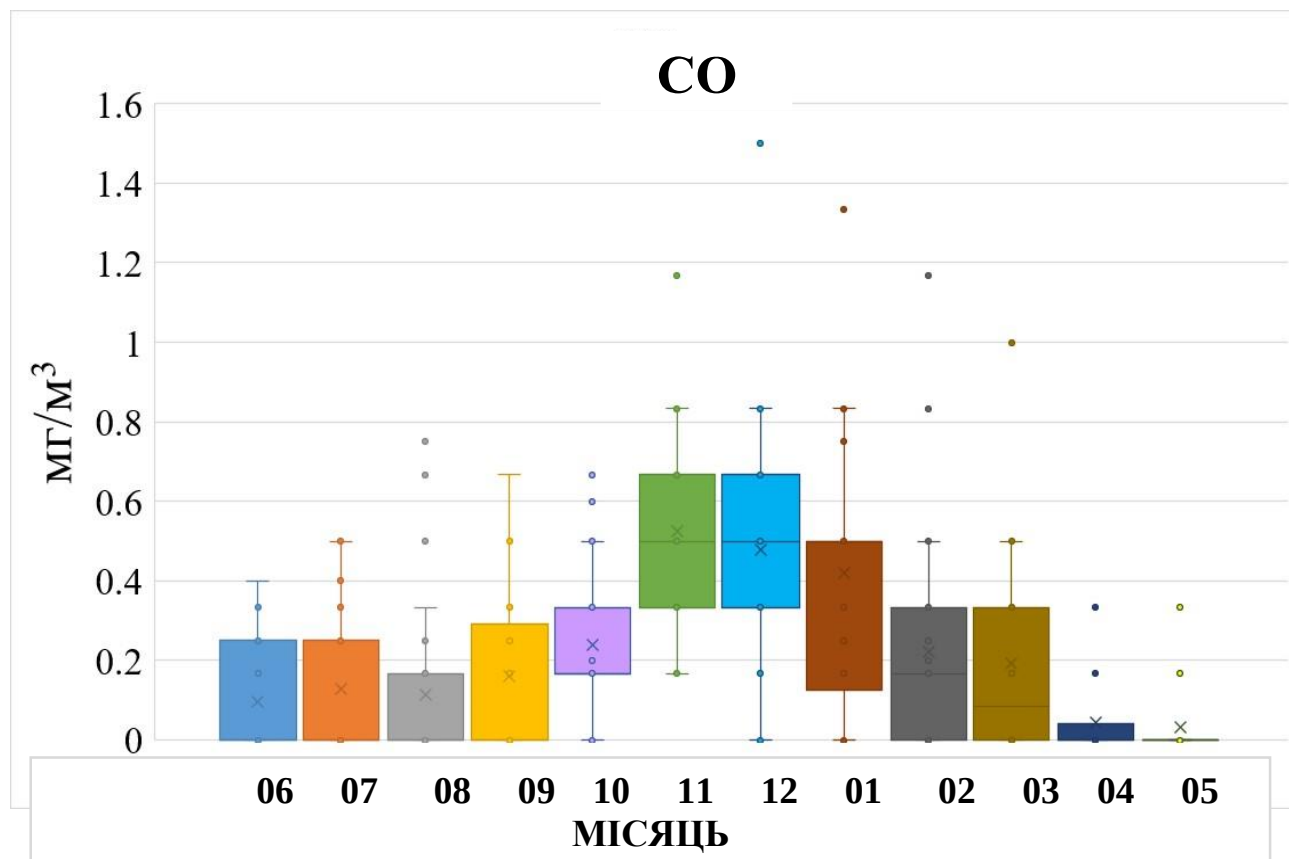


Рис. 3.3. Динаміка річної зміни усереднених концентрацій оксиду вуглецю в атмосферному повітрі м. Чернівці з червня 2023 р. по травень 2024 р., мг/м³

Динаміка змін діоксиду азоту засвідчила про відносно рівномірне коливання їх вмісту протягом року: від 0,012 мг/м³ (у липні) до 0,027 мг/м³ (у жовтні-листопаді) (табл. 3.1), тобто кратність відмінностей між вказаними значеннями становить у середньому ~2,3 рази. Помічено деяке підвищення рівнів NO₂ у холодний період року, зокрема в жовтні-листопаді (рис. 3.4). Втім сезонних відмінностей не виявлено. Перевищень граничних концентрацій за усередненими показниками також не встановлено (за винятком поодиноких значень, зафіксованих у листопаді, січні та лютому місяцях) (рис. 3.4, табл. 3.2).

Як вказують науковці основним джерелами надходження оксидів азоту,

зокрема NO та NO₂, у атмосферу є викиди, що утворюються під час згоряння палива у транспортних засобах та промислових процесах (Гвоздарьова, 2024; Кагукіна, Пацева, 2024).

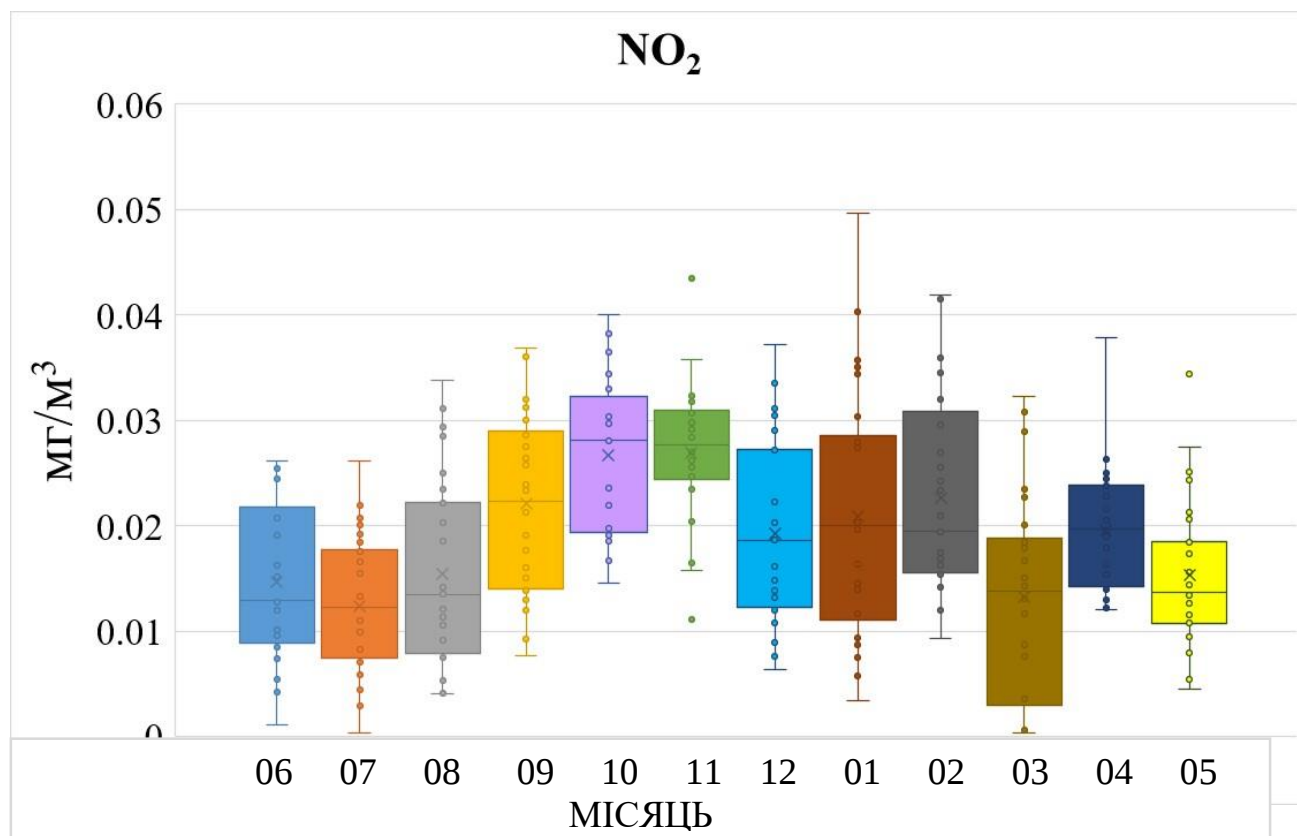


Рис. 3.4. Динаміка річної зміни усереднених концентрацій діоксиду азоту в атмосферному повітрі м. Чернівці з червня 2023 р. по травень 2024 р., мг/м³

Така ж відносна стабільність коливань концентрацій у атмосферному повітрі виявлена і для оксиду азоту – 0,002-0,008 мг/м³ (кратність відмінностей між показниками становить у середньому ~4 рази) (табл. 3.2). При цьому низький середній рівень за усередненими показниками встановлено у грудні, січні та березні місяцях, а найвищий – у квітні (рис. 3.5). Також високе наближене середнє значення (0,007 мг/м³) відмічено і в листопаді. Згідно вимог нормативів перевищень допустимих меж в жодному випадку не встановлено (табл. 3.2).

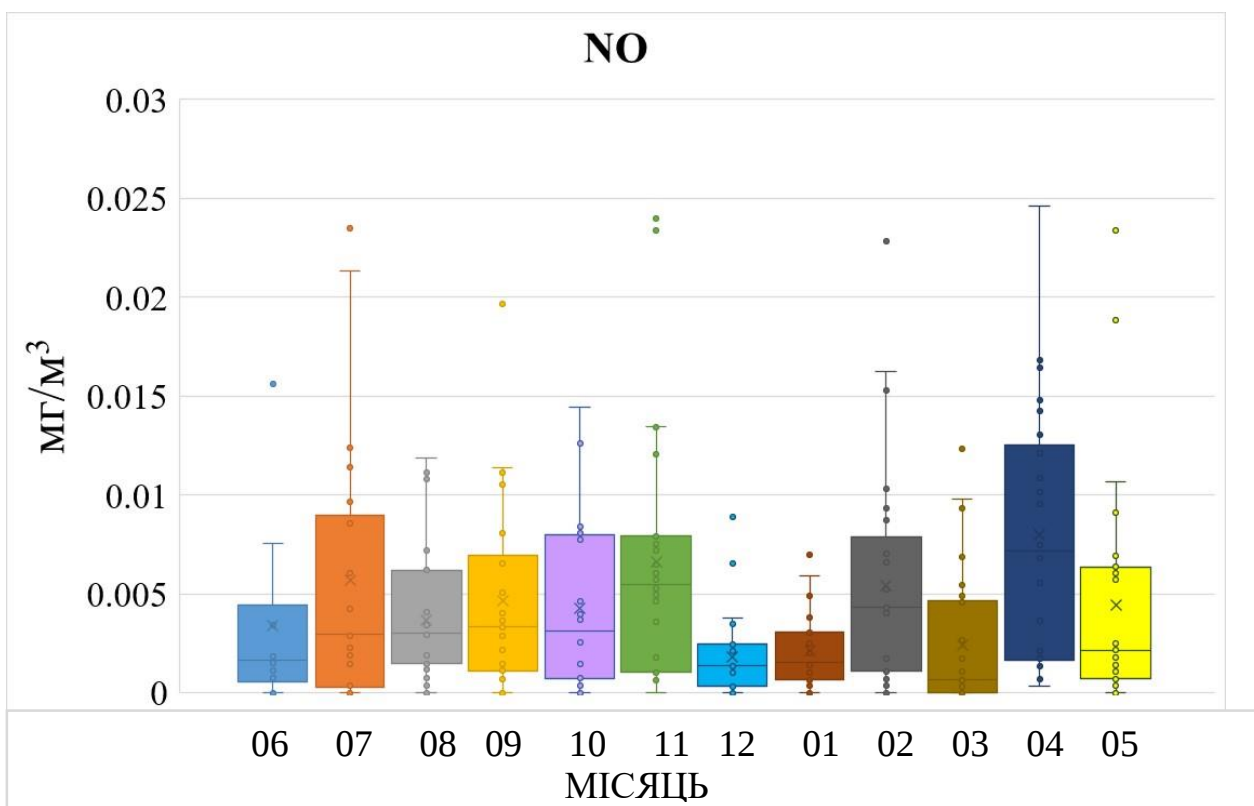


Рис. 3.5. Динаміка річної зміни усереднених концентрацій оксиду азоту в атмосферному повітрі м. Чернівці з червня 2023 р. по травень 2024 р., мг/м^3

Одним із найпоширеніших та небезпечних забруднювачів навколишнього середовища є фенол. Основними сферами його використання фенолу є виробництво бісфенолу А та фенолоформальдегідні смоли (>70 % світового споживання). Також феноли потрапляють у навколишнє середовище внаслідок переробки твердого палива, виробництва паперу, лакофарбових матеріалів, клеїв, різних пластмас, в результаті діяльності нафтодобувних, коксохімічних, металургійних, асфальтобетонних заводів, при дефенолізації стічних вод, під час лісових пожеж, а також в результаті біогенних процесів, наприклад життєдіяльності гідробіонтів (Kulakova et al., 2020). Феноли є компонентами вторинних органічних аерозолів, і джерелом утворення яких є спалювання біомаси, вихлопи транспортних засобів, розкладання пестицидів, переробка смоли, видобуток вугілля (Hettiarachchi, Grassian, 2024).

В результаті аналізу концентрацій фенолу у атмосферному повітрі м. Чернівці виявлено, що рівні C_6H_6O в середньому варіюють в межах від 0,00059 $мг/м^3$ (у листопаді) до 0,00250 $мг/м^3$ (у лютому) (табл. 3.2, рис. 3.6), тобто кратність відмінностей між найвищим та найнижчим значеннями у середньому становить $\sim 4,2$ рази. Дещо наближеними за усередненими мінімальними та максимальними значеннями є дані, отримані у червні (0,00063 $мг/м^3$) та квітні (0,00268 $мг/м^3$). В цілому загальна сукупність отриманих результатів відповідає встановленим вітчизняним нормативам, тобто перевищень ГДК не зафіксовано (табл. 3.2).

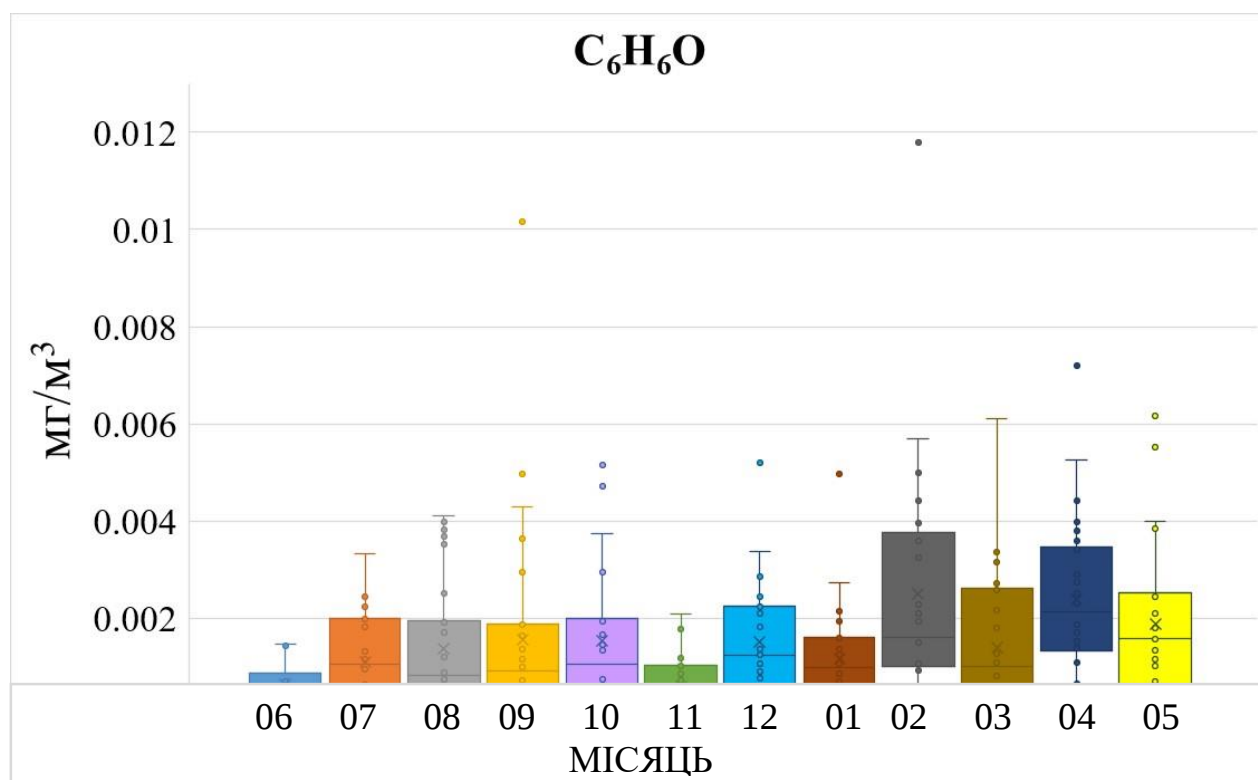


Рис. 3.6. Динаміка річної зміни усереднених концентрацій фенолу в атмосферному повітрі м. Чернівці з червня 2023 р. по травень 2024 р., $мг/м^3$

Примітка: дані подано у $10^{-2} мг/м^3$

Як зазначають науковці (Kulakova et al., 2020), концентрація фенолу в атмосферному повітрі значно залежить від переважаючих погодних умов.

Спостереження показують, що навіть при тривалих стабільних рівнях фенолу в повітрі, що утворюється в результаті діяльності промислових підприємств і транспортних викидів, вплив метеорологічних умов може змінити його рівні в кілька разів (Hettiarachchi, Grassian, 2024).

Ще однією небезпечною та отруйною речовиною є фтористий водень, який за звичайних умов є безбарвним газом з різким запахом. HF також відомий як плавикова кислота. Зазвичай, використовується в нафтохімічній, фармацевтичній, електронній промисловості, у виробництві холодоагентів, як консервант під час очищення промислових матеріалів, при обробці поверхонь (протравлення) скла, деревини, металів, на будівельних майданчиках (очищення фасадів будівель) та входить до складу різноманітних суперкислот (Cheng, 2018).

Розглядаючи динаміку змін вмісту фтористого водню в атмосферному повітрі м. Чернівці виявлено, що за досліджуваний період концентрації HF змінювалися в досить широких межах: від $0,00002 \text{ мг/м}^3$ (лютий) до $0,00322 \text{ мг/м}^3$ (липень) (табл. 3.1), тобто кратність відмінностей між мінімальним та максимальним значеннями є досить суттєвою і складає ~ 160 рази. Втім в загальному перевищень границь допустимих значень за усередненими показниками не зафіксовано (за винятком поодиноких випадків максимальних рівнів, зареєстрованих у липні місяці; табл. 3.2). Також помічена сезонна тенденція щодо підвищення концентрацій фтористого водню у літньо-осінній період та зниження його у зимово-весняний період (рис. 3.7).

На території м. Чернівці основним джерелом надходження фтористого водню у атмосферне повітря є діяльність ВАТ “Чернівецький хімічний завод”, пов’язана із виробництвом синтетичних барвників та смол (Робулець, Сівак, 2017).

Науковцями встановлено, що час перебування HF в атмосфері становить менше чотирьох днів, а осадження (тобто транспортування з атмосфери на

поверхню) є домінуючим механізмом, який контролює видалення HF та його олігомерів з атмосфери (Cheng, 2018).

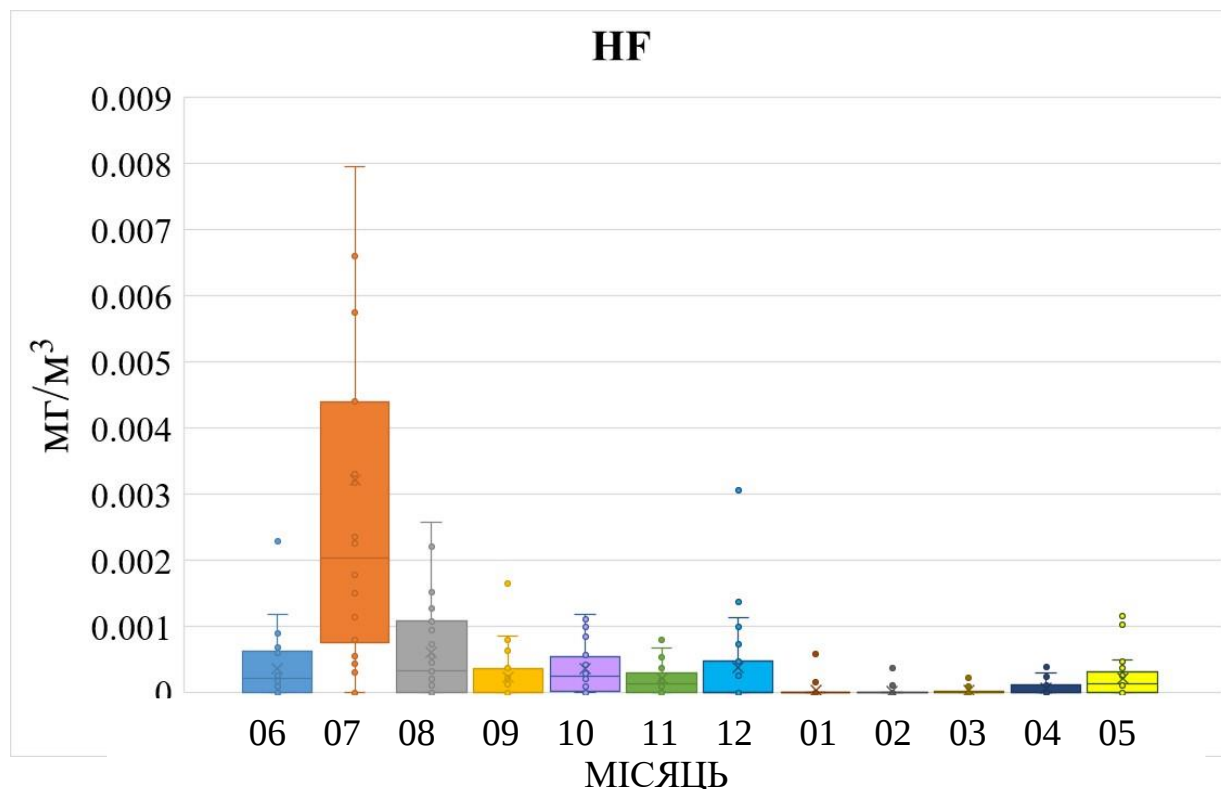


Рис. 3.7. Динаміка річної зміни усереднених концентрацій фтористого водню в атмосферному повітрі м. Чернівці з червня 2023 р. по травень 2024 р., мг/м³

Примітка: дані подано у 10^{-2} мг/м³

Хлористий водень є негорючим безбарвним газом, що не реагує з водою, втім легко розчиняється в ній. Тому в атмосфері, забрудненій хлором, утворюється хлористий водень, який зазвичай присутній у вигляді парів. Основними джерелами потрапляння HCl в атмосферу є викиди від діяльності нафтохімічної промисловості, виробництва білизни, синтетичного каучуку, соляної та хлорсульфенової кислот; виготовлення ароматизаторів, барвників, синтезу ліків, різних хлоридів та інгібіторів корозії, а також для дублення, очищення, рафінування, виробництва і гальванічного покриття твердого металу. Газоподібний HCl високої чистоти часто застосовують і при гетеруванні,

очищенні, травленні в електронній промисловості, поліруванні в паровій фазі, епітаксійному вирощуванні кремнію тощо (Yildiz et al., 2024).

Дослідження просторово-часових змін вмісту хлористого водню засвідчило про його коливання у відносно вузьких межах – від 0,034 мг/м³ (у липні) до 0,122 мг/м³ (у жовтні) (табл. 3.1), тобто кратність відмінностей між найвищим та найнижчим значеннями становила у середньому ~3,5 рази. Отриманий діапазон даних цілком узгоджується з діючими в Україні нормативами (табл. 3.2). Прослідковується і деяка тенденція сезонних змін щодо зниження вмісту HCl у літні місяці та зростання його рівнів у окремі осінні (наприклад, у жовтні-листопаді) та деякі зимові (наприклад, у грудні) (рис. 3.8).

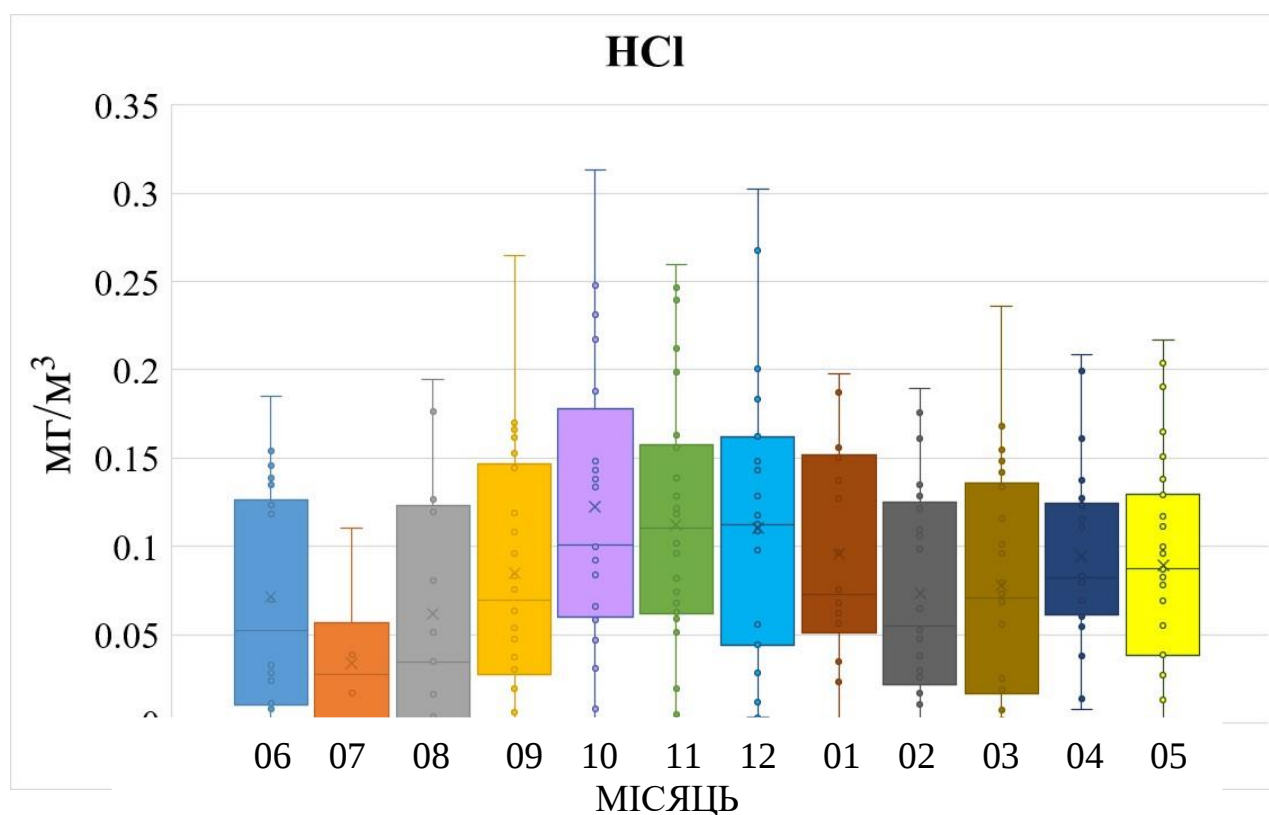


Рис. 3.8. Динаміка річної зміни усереднених концентрацій хлористого водню в атмосферному повітрі м. Чернівці з червня 2023 р. по травень 2024 р., мг/м³

Отримані нами зміни концентрації хлористого водню в повітрі м. Чернівці впродовж року можна пояснити тим фактом, що з підвищенням температури в атмосферному повітрі утворення хлористого водню зменшується (Yildiz et al., 2024). Також згідно проведених досліджень (Li et al., 2024) виявлено, що на зміну концентрацій хлоридів, сульфатів, нітратів у повітрі впливають і вміст неорганічних конденсованих твердих частинок, збільшення яких призводить до взаємодії з даними органічними речовинами, збільшуючи їх. В нашому випадку даний факт також отримав підтвердження, адже нами виявлено пряму кореляцію (із середнім зв'язком) хлористого водню із завислими частинками (див. підрозділ 3.2).

Додаткове джерело надходження HCl в атмосферне повітря останніми роками пов'язане і з війною в Україні. Адже відомо, що під час військових дій використовується низка різноманітних сильнодіючих отруйних речовин та токсичних небезпечних хімічних речовини, що містять хлор, трихлористий фосфор, дихлорофос, хлостаноли, хлорпікрин, етиленхлоргідрин та ін. (Дудоров, Письменський, 2024). Відповідно, попадаючи в атмосферу, дані речовини мігрують з потоком повітряних мас в інші місцевості, зокрема й в повітряний простір м. Чернівці.

На території м. Чернівці основним джерелом надходження хлористого водню у атмосферне повітря згідно (Робулець, Сівак, 2017) є діяльність ВАТ «Чернівецький хімічний завод», пов'язана із виробництвом синтетичних барвників та смол.

Формальдегід (HCHO або CH_2O) є найпоширенішою карбонільною сполукою в атмосфері та продуктом фотохімічного окислення. Основним попередником HCHO на континентах є метан та неметанові вуглеводні (Wolfe et al., 2016). Крім того, кілька первинних антропогенних і природних джерел, включаючи спалювання біомаси, промислові процеси, спалювання викопного палива та рослинність, також відповідають за прямі викиди HCHO (Ling et al.,

2017). Основними шляхами видалення HCHO з повітря є фотоліз, реакція з OH та сухе/мокре осадження (Lei et al., 2009). Важливість HCHO в атмосфері може бути відображена в її продуктах фотолізу (тобто HOx), які стимулюють утворення озону та впливають на утворення летких вторинних органічних аерозолів (Guo et al., 2024).

Аналізуючи динаміку річної зміни вмісту формальдегіду у атмосферному повітрі м. Чернівці встановлено, що в середньому рівні CH_2O флюктують в діапазоні 0,005-0,067 mg/m^3 (у березні, липні відповідно) (табл. 3.1, рис. 3.9), тобто кратність відмінностей між максимумом і мінімумом становить у середньому $\sim 13,4$ рази. Насторожуючим є той факт, що з червня по грудень 2023 р. (за винятком листопада) отримані усереднені концентрації формальдегіду у повітрі досягали шкідливого рівня, перевищуючи ГДК (особливо в липні у $\sim 2,2$ рази) або встановлюючись на одному і тому ж значенні, що й нормативний показник (наприклад, у грудні) (табл. 3.2).

Атмосферні джерела утворення формальдегіду є складними. У міських або забруднених районах первинні викиди, такі як вихлопні гази транспортних засобів і спалювання вугілля, є основними джерелами утворення формальдегіду. Крім того, до утворення формальдегіду може призводити окислення майже всіх летких органічних сполук (які включають широкий спектр хімічних речовин, мають різну фотохімічну реакційну здатність і походять з різних джерел викидів, що призводить до ще більших труднощів при вивченні ролі летких органічних сполук при вторинному забрудненні формальдегідом (Shao et al., 2016; Xu et al., 2017, 2024). Останнє значно впливає на зміни регіональних концентрацій CH_2O (Shen, et al., 2024).

Оскільки Чернівецька область та м. Чернівці зокрема, володіють значним потенціалом розвитку деревообробних виробництв у західному регіоні України (ГУС у Чернівецькій області..., 2024; Іщук С.О., Коваль, 2020), то отримані нами результати ми пов'язуємо саме з даним видом діяльності. Адже, як відомо,

формальдегід, виділяється під час виробництва фанери, ДСП, виготовлення меблів та корпусів, різання, пиляння, шліфування та лакування паркетної підлоги, разом із клеями для деревини, оздоблювальними матеріалами, фарбою для меблів, а в поєднанні з деревним пилом проявляє потенційний канцерогенний ризик (Tasdemir et al., 2024; Bruschweiler et al., 2016).

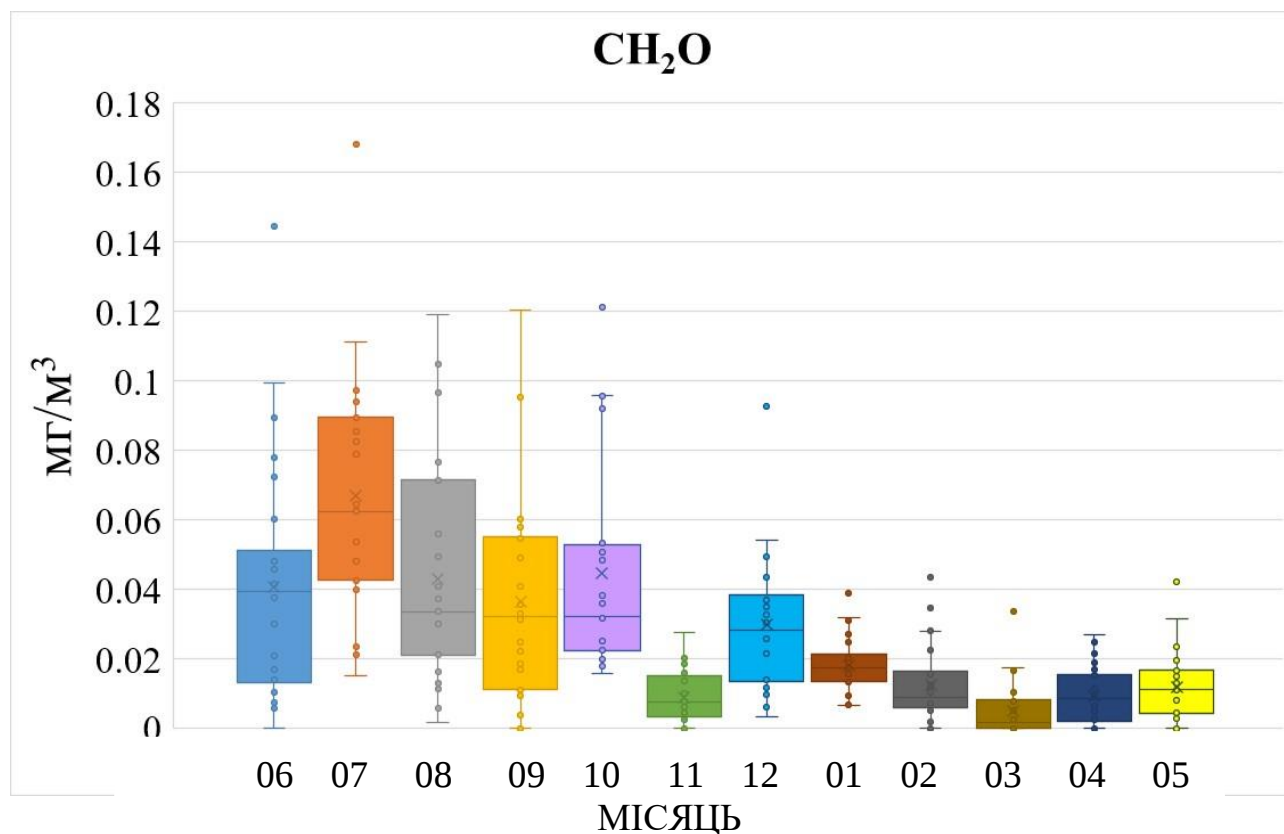


Рис. 3.9. Динаміка річної зміни усереднених концентрацій формальдегіду в атмосферному повітрі м. Чернівці з червня 2023 р. по травень 2024 р., мг/м³

Також додатковим джерелом надходження формальдегіду у атмосферне повітря на території м. Чернівці згідно (Робулець, Сівак, 2017) є діяльність ВАТ «Чернівецький хімічний завод», пов'язана із виробництвом синтетичних барвників та смол.

Узагальнюючи отримані результати, а саме аналізуючи середні концентрації розглянутих забруднювальних речовин в кратності ГДК, бачимо,

що лише формальдегід перевищує встановлені в Україні діючі нормативні показники (рис. 3.10). Зокрема, у червні – в 1,35 рази, у липні – в 2,23 рази, у серпні – 1,43 рази, у вересні – в 1,22 рази, у жовтні – в 1,48 рази і в грудні є рівнозначним даним ГДК. Проте, в цілому ж оцінка якості атмосферного повітря м. Чернівці за відповідністю рівням ГДК та індексом забруднення атмосферного повітря (ІЗА) дозволяє класифікувати його в більшості випадках як слабо забруднене, а у весняний період і деякі осінні чи зимові місяці навіть як чисте (табл. 3.2).

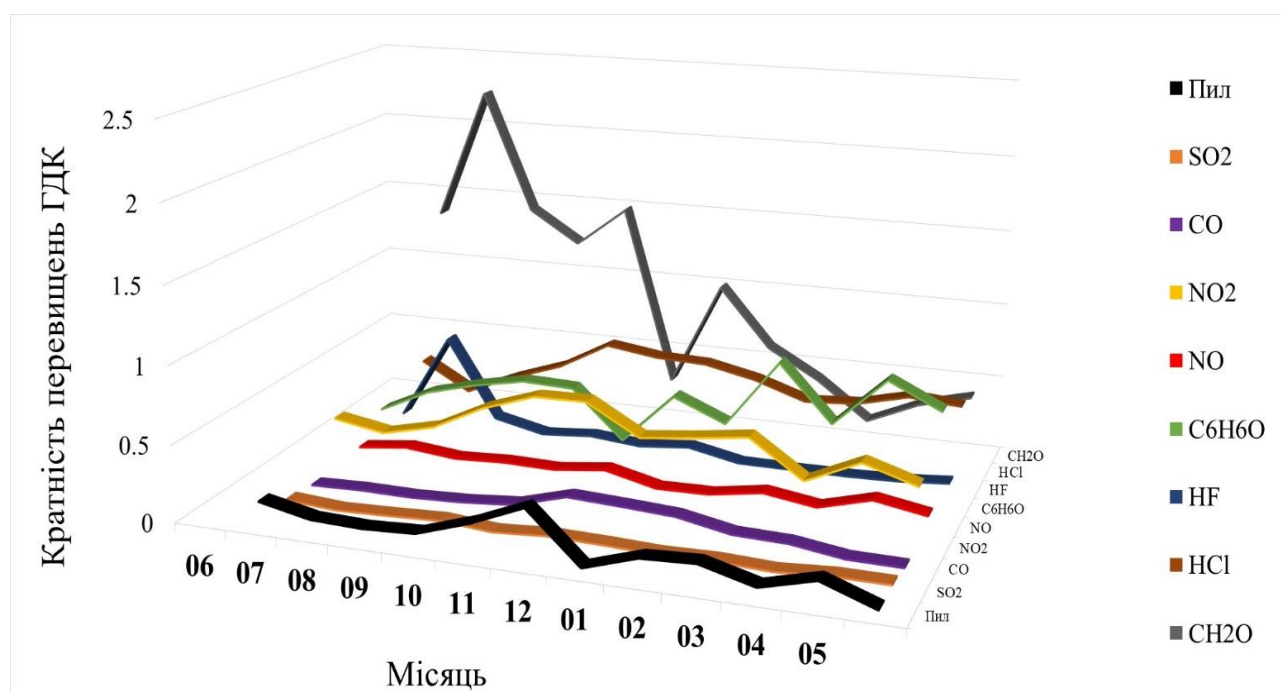


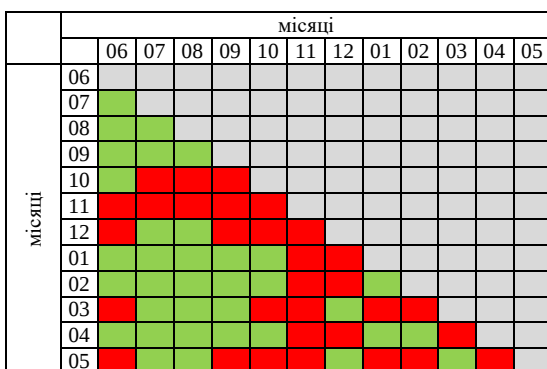
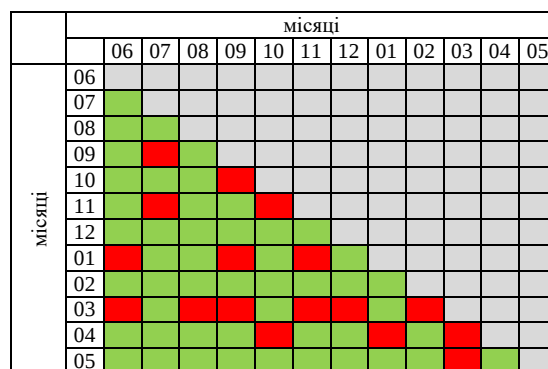
Рис. 3.10. Динаміка змін середніх концентрацій досліджуваних забруднювальних речовин в атмосферному повітрі м. Чернівці в кратності ГДК за період з червня 2023 р. по травень 2024 р.

Сукупність отриманих даних нами була проаналізована і за допомогою деяких популярних апостеріорних тестів (Руденко та ін., 2019). Спершу нами здійснено дисперсійний аналіз (ANOVA) із застосуванням тесту Тьюкі (Tukey test). Втім результати продемонстрували низькі р-значення для кожного порівняння, а відмінності між парами виявилися настільки незначними, що навіть

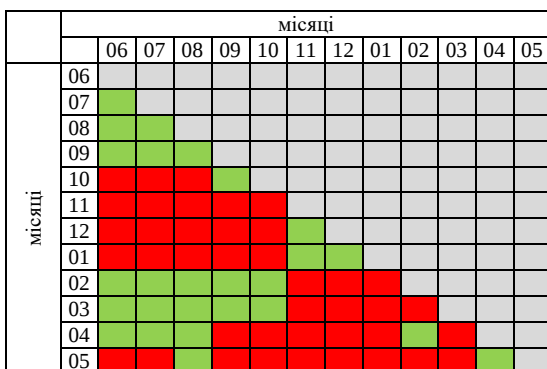
після поправки на множинні порівняння тест Тьюкі не показав статистично достовірної різниці (p -значення $>0,05$). Тому в подальшому ми здійснили аналіз парного t -тесту за критерієм Стюдента (t -test Student's) з поправкою Бонферроні (Bonferroni correction) на множинні порівняння. Даний аналіз підтвердив достовірні відмінності між концентраціями досліджуваних забруднювальних речовин по місяцях. Візуалізацію даних подано нижче у вигляді теплограм (рис 3.11).

Згідно проведеного статистичного опрацювання даних встановлено деякі сезонні тенденції. Зокрема, прослідковується тенденція щодо вищих концентрацій формальдегіду та фтористого водню у літньо-осінній період та їх зниження у зимово-весняний період. Крім того, виявлено відмінності між літніми та зимовими місяцями щодо вмісту завислих речовин, CO, HCl, NO та NO₂ в сторону їх вищих рівнів в холодний період року (рис. 3.11).

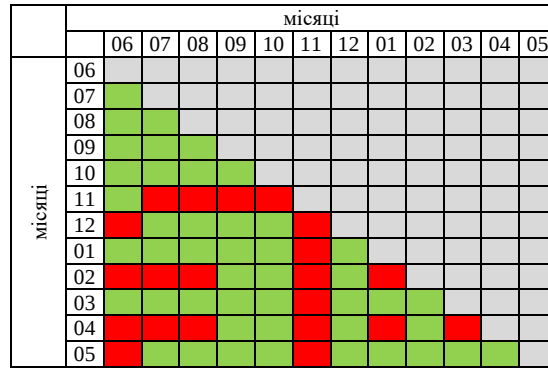
завислі речовини

діоксид сірки (SO₂)

оксид вуглецю (CO)



фенол (C₆H₆O)



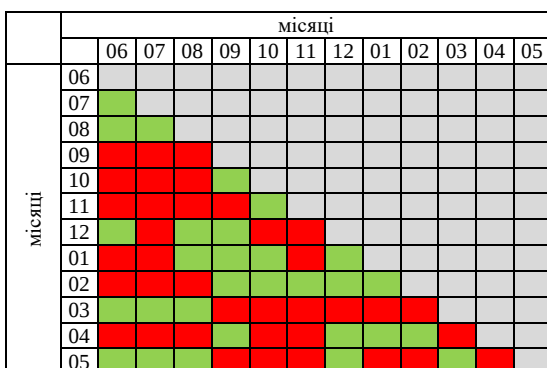
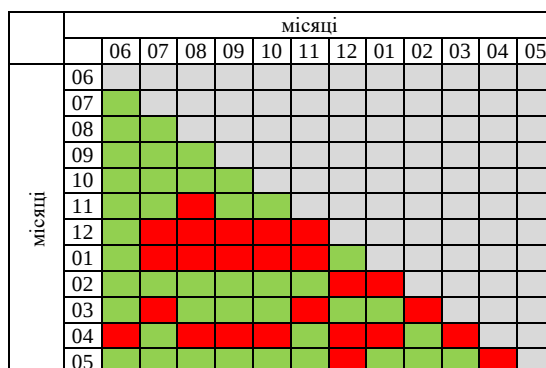
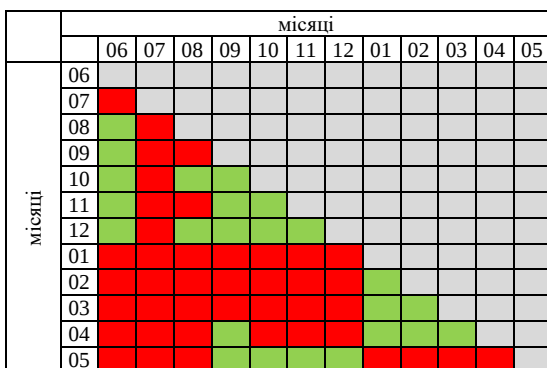
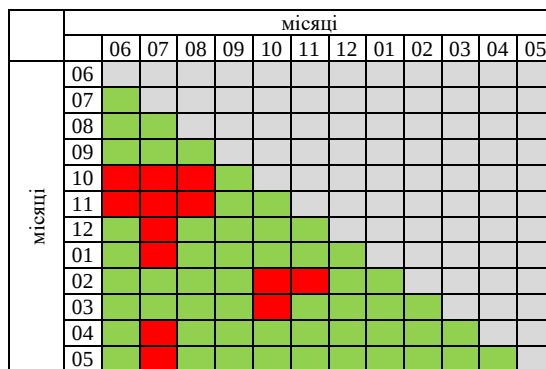
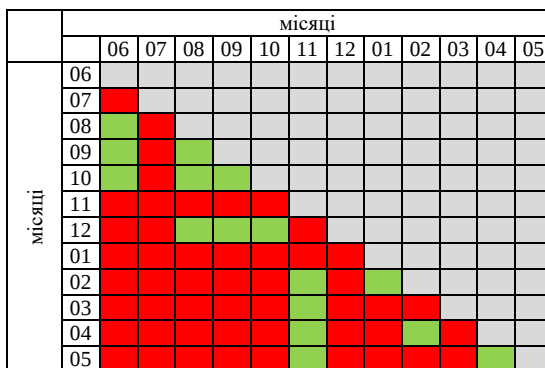
діоксид азоту (NO_2)оксид азоту (NO)фтористий водень (HF)хлористий водень (HCl)формальдегід (CH_2O)

Рис 3.11. Теплограми, що візуалізують відмінності між усередненими місячними показниками досліджуваних забруднювальних речовин в атмосферному повітрі м. Чернівці, встановлені за допомогою парного t-test за критерієм Student's з поправкою Bonferroni на множинні порівняння

Примітка: червоним вказано наявність статистично значущої достовірної відмінності між вибірками, а зеленим – її відсутність

Також відмітимо, що прослідковується і загальна картина щодо флуктуацій широких/вузьких діапазонів змін концентрацій протягом року. Так, наприклад, вміст діоксиду нітрогену, діоксиду сірки, хлористого водню, оксиду нітрогену та фенолу у атмосферному повітрі протягом року є відносно стабільнішим, в порівнянні з вмістом завислих речовин, оксидом вуглецю, формальдегідом та фтористим воднем. Зокрема, для останнього кратність відмінностей між усередненими максимальними та мінімальними значеннями (зафіксованими протягом року) становить ~160 разів, натомість між відповідними значеннями NO₂ лише 2 рази (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Кратність відмінностей між усередненими максимальними та мінімальними значеннями досліджуваних забруднювальних речовин, визначених за період з червня 2023р. по травень 2024 р. у атмосферному повітрі м. Чернівці

Забруднювальні речовини	Співвідношення усереднених $C_{\max}/C_{\min}$
Завислі речовини	10
SO ₂	3
CO	17
NO ₂	2
NO	4
C ₆ H ₆ O	4
HF	160
HCl	3.5
CH ₂ O	13.4

Якщо розглянути отримані результати в розрізі місяців, то бачимо що закономірностей щодо розподілу чи домінування певних забруднювальних речовин у атмосферному повітрі м. Чернівці не виявлено. Втім, місяцем, який найчастіше згадується з максимальними усередненими концентраціями тих чи інших поллютантів, виявився листопад, а з мінімальними – березень (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Місяці, найчастіше згадувані з усередненими максимальними/ мінімальними концентраціями поллютантів в атмосферному повітрі м. Чернівці

Забруднювальні речовини	Місяці, в яких зафіксовані переважання усереднених:	
	максимальних концентрацій	мінімальних концентрацій
Завислі речовини	листопад	травень, грудень
SO ₂	червень, вересень, листопад	березень
CO	листопад	травень
NO ₂	листопад, жовтень	березень, липень
NO	квітень	грудень, січень, березень
C ₆ H ₆ O	лютий, квітень	червень
HF	липень	січень, лютий, березень
HCl	листопад, жовтень, грудень	липень
CH ₂ O	липень	березень

Основними джерелами потрапляння досліджуваних забруднювальних речовин, особливо токсичних (таких як формальдегід, хлористий водень, фтористий водень), у атмосферне повітря на території м. Чернівці є ВАТ «Чернівецький хімічний завод» (виробництво синтетичних барвників і смол), ВАТ «Чернівецький олійно-жировий комбінат» (виготовлення жирів), ВАТ «Мамалигівський гіпсовий завод», ВАТ «Чернівецький цегельний завод №1 та №3». Також вагомий внесок у забруднення атмосфери в м. Чернівці вносять відпрацьовані гази (особливо оксиди нітрогену та карбону і бензопірен) автотранспорту (~90 % від загального обсягу викидів), кількість якого в останні роки помітно збільшилася (Робулець, Сівак, 2017).

Загалом впродовж року в атмосферу м. Чернівці надходять викиди від понад сотні діючих підприємств області, з яких ~70 розташовані саме у м.

Чернівці. Так на 1 діюче підприємство припадає більше двадцяти тон шкідливих речовин. В цілому ж по області дана цифра сягає ~ 3 тис. тон. Також одними з потужних забруднювачів атмосферного повітря області є підприємства переробної промисловості (>50 % від загального обсягу всіх викидів) (ГУС в Чернівецькій області..., 2024).

В регіоні вживають заходів щодо зменшення обсягів антропогенних викидів парникових газів, з яких найефективнішими виявилися заходи спрямовані на зниження втрат природного газу, автоматизоване управління енергопостачанням, а також впровадження механізмів міжгалузевих програм енергозбереження. Вагомим внеском стало скорочення шкідливих речовин завдяки реконструкції котельні МКП «Чернівцітеплокомуненерго», що стало можливим завдяки заміні на котли, які працюють на газі, з ККД до 92% (Робулець, Сивак, 2017).

Таким чином, в результаті проведеного аналізу вмісту забруднювальних речовин (а саме: завислих речовин, діоксиду сірки, оксиду вуглецю, діоксиду та оксиду азоту, фенолу, фтористого та хлористого водню, формальдегіду) у атмосферному повітрі м. Чернівці за період з червня 2023 р. по травень 2024 р. виявлено, що концентрації більшості із них знаходяться в межах ГДК, за винятком формальдегіду, рівні якого перевищували допустимі норми в 1,2-2,2 рази (переважно в літньо-осінній період 2023 р.). Тобто гігієнічна оцінка якості атмосферного повітря м. Чернівці за відповідністю рівням ГДК дозволяє класифікувати його як слабо небезпечне. Відмітимо і те, що впродовж року спостерігалася відносно однорідна рівномірність розподілу концентрацій діоксиду нітрогену, діоксиду сірки, хлористого водню, оксиду нітрогену та фенолу. Натомість для рівнів завислих речовин, оксиду вуглецю, формальдегіду та фтористого водню відмічені суттєві відмінності, що досягали в кратності між співвідношеннями максимальних/мінімальних величин десятки, а іноді й сотні разів.

3.2. Кореляційно-регресійний аналіз тенденцій просторово-часових варіацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі м. Чернівці

Розглядаючи просторово-часові варіації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі м. Чернівці, нами помічено деякі тенденції. Тому в подальшому з метою підтвердження чи спростування їх, ми здійснили кореляційний та регресійний аналіз (табл. 3.4, 3.5).

Найбільш загальновідомою мірою залежності між двома величинами є коефіцієнт кореляції. У статистиці кореляція (*correlation*) або залежність (*dependence*) – це будь-який статистичний взаємозв'язок, причинний чи ні, між двома випадковими змінними або двовимірними даними. По суті, кореляція – це міра того, як дві чи більше змінні пов'язані одна з одною (Кореляція..., 2024). Тому в подальшому нами також здійснено кореляційний аналіз (табл. 3.4). Так встановлено, що лише для пари «NO₂-завислі речовини» та «NO₂-HCl» виявлена пряма кореляційна залежність із сильним зв'язком. Це вказує на те, що зі зростанням вмісту однієї речовини із пари (наприклад NO₂) передбачається збільшення і концентрацій іншої речовини в парі (наприклад, дрібнодисперсних речовин чи HCl). Хотілося б зазначити, що також виявлений прямий сильний зв'язок між парою «формальдегід-фтористий водень» та зворотний між парою «HCl -HF». Втім статистичної значущості не встановлено.

Незначні середні прямі зв'язки виявлені й між залежностями «CO – завислі речовини», «NO – завислі речовини», «HCl – завислі речовини», «CO – NO», «CO – HCl», а також непрямі зв'язки між парами: «C₆H₆O – завислі речовини», «C₆H₆O – CO», «HF – NO», «CH₂O – HCl», «CH₂O – C₆H₆O». Тобто, виявлені прямі залежності вказують на те, що із середньою ймовірністю зростання концентрацій однієї речовини зумовить збільшення рівнів іншої у відповідній парі, а непрямі – на те, що зростання концентрацій однієї речовини зумовить зменшення рівнів іншої у відповідній парі.

Таблиця 3.4

Кореляційні зв'язки, визначені для досліджуваних забруднювальних речовин в повітрі м. Чернівці

	Завислі речовини	Діоксид сірки	Оксид вуглецю	Діоксид азоту	Оксид азоту	Фенол	Фтористий водень	Хлористий водень	Формальдегід
Завислі речовини									
Діоксид сірки	0.24								
Оксид вуглецю	0.42	-0.03							
Діоксид азоту	0.69*	0.19	0.56						
Оксид азоту	0.50	0.30	-0.28	0.28					
Фенол	-0.36	-0.16	-0.36	0.09	0.28				
Фтористий водень	-0.14	-0.20	-0.19	-0.44	0.18	-0.26			
Хлористий водень	0.38	0.11	0.55	0.75*	-0.06	0.06	-0.66		
Формальдегід	-0.15	0.01	-0.21	-0.24	-0.09	-0.34	0.76	-0.46	

Примітка: * - достовірна відмінність при $p \leq 0,05$

позитивна/пряма кореляція		сильний зв'язок
		середній зв'язок
		слабкий/відсутній зв'язок
негативна/зворотна кореляція		слабкий/відсутній зв'язок
		середній зв'язок
		сильний зв'язок

При визначення залежності однієї величини від іншої використовують регресійний аналіз, який, на відміну від кореляційного аналізу не з'ясовує силу зв'язку, а націлений на пошук моделі цього зв'язку, вираженої у функції регресії. Регресійний аналіз використовується в тому випадку, якщо відношення між змінними можуть бути виражені кількісно у виді деякої комбінації цих змінних. Отримана комбінація використовується для передбачення значення, що може приймати цільова (залежна) змінна, яка обчислюється на заданому наборі значень вхідних (незалежних) змінних. У найпростішому випадку для цього використовуються стандартні статистичні методи, такі як лінійна регресія (Регресійний аналіз..., 2024).

В результаті проведення регресійного аналізу для кожної досліджуваної забруднювальної речовини отримано регресійні залежності та коефіцієнти їх детермінації, які подані у таблиці 3.5. Дані регресійні рівняння, базуючись на вже продемонстрованих просторово-часових змінах концентрацій відповідної речовини впродовж року у повітрі м. Чернівці, дозволяють виявити певні закономірності їх розподілу та спрогнозувати ймовірні зміни рівнів тих чи інших політантів у атмосфері міста на найближчий період.

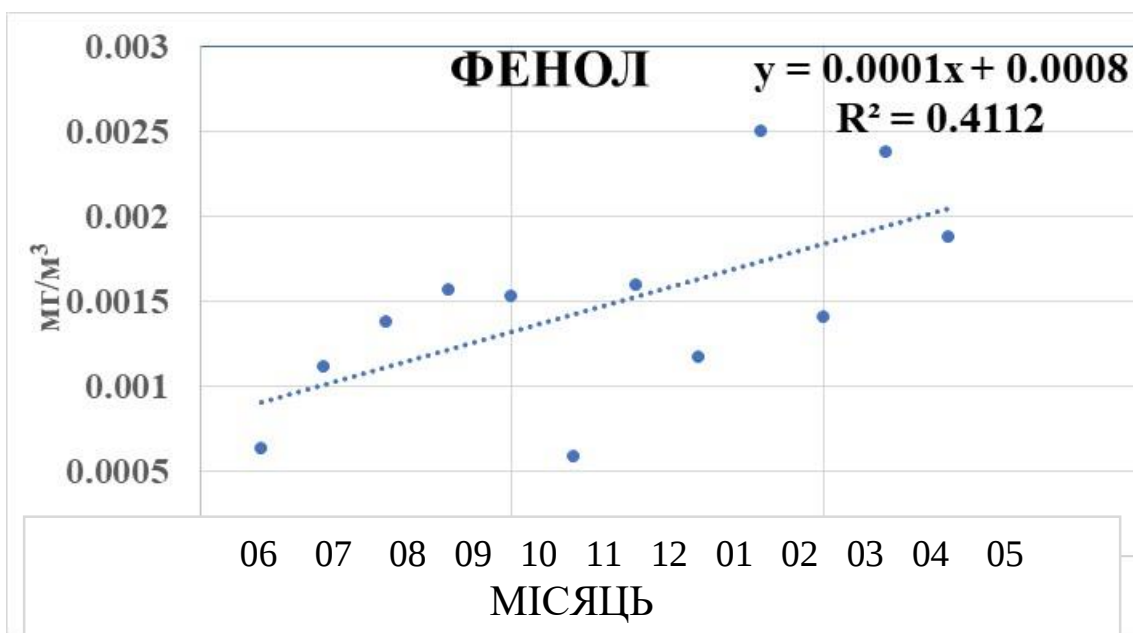
Таблиця 3.5

Рівняння регресії, що демонструють прогнозоване збільшення/зменшення концентрації відповідної забруднювальної речовини в атмосферному повітрі м. Чернівці на наступні місяці

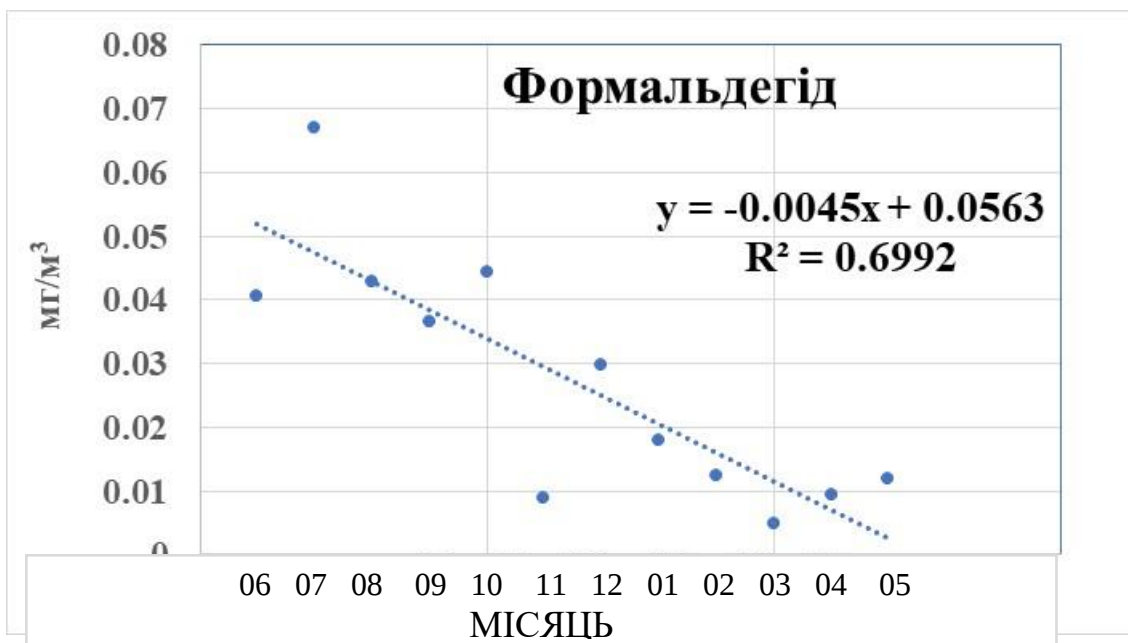
Забруднювальна речовина	Рівнянні регресії	Якість моделі, R^2
Завислі речовини	$y = -0.0007x + 0.0248$	0.0364
Діоксид сірки	$y = -4E-05x + 0.0024$	0.085
Оксид вуглецю	$y = -0.0002x + 0.2212$	0.00005
Діоксид азоту	$y = 0.0001x + 0.0183$	0.0077
Оксид азоту	$y = 6E-05x + 0.004$	0.0118
Фенол	$y = 0.0001x + 0.0801$	0.4112
Фтористий водень	$y = -0.0001x + 0.1296$	0.2644
Хлористий водень	$y = 0.0025x + 0.0694$	0.1367
Формальдегід	$y = -0.0045x + 0.0563$	0.6992

Примітка: статистична значущість $p \leq 0,05$

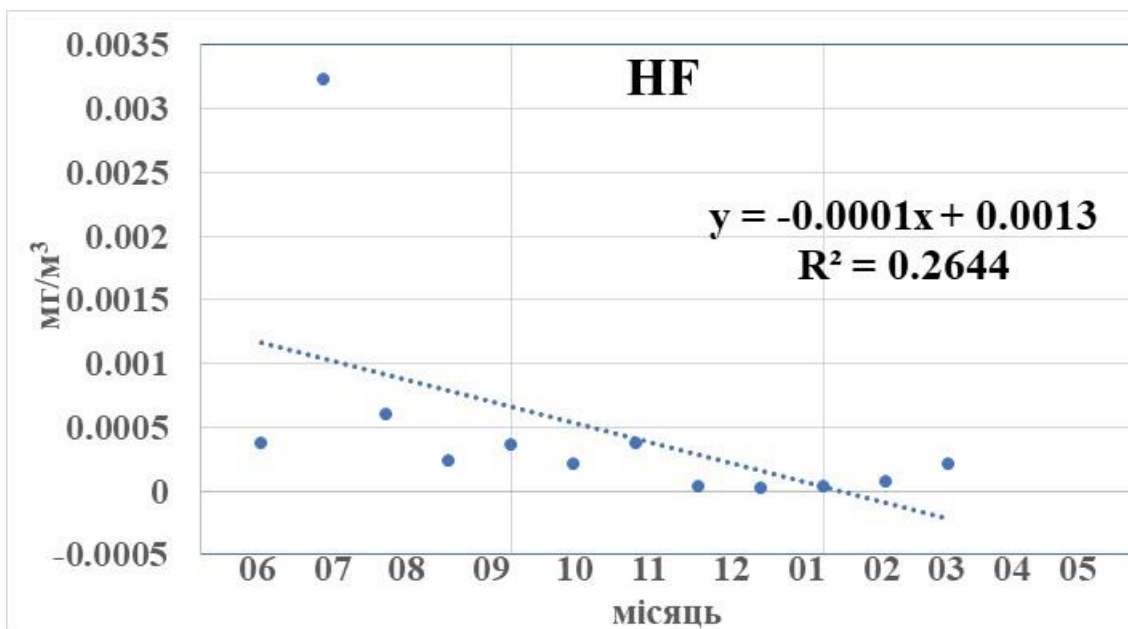
З отриманих результатів, наведених в таблиці 3.4, на увагу заслуговує регресійне рівняння, визначене для змін річної динаміки у атмосферному повітрі м. Чернівці вмісту фенолу, формальдегіду та частково фтористого водню (рис. 3.12). Так, на основі рівняння регресії, вказаного для фенолу ($y=0,0001x+0,0008$; коефіцієнт детермінації $R^2=0.41$), можна передбачити, що впродовж наступних місяців із середньою ймовірністю рівень C_6H_6O зростатиме приблизно на $0,0001$ мг/м³. Натомість, згідно рівняння регресії, вказаного для формальдегіду ($y=-0,0045x+0,0563$; коефіцієнт детермінації $R^2=0.70$), прогнозується його зниження на $0,0045$ мг/м³ щомісяця. Також можливе незначне зниження і рівнів фтористого водню ($y=-0,0001x+0,1296$; коефіцієнт детермінації $R^2=0.26$).



А)



Б)



В)

Рис. 3.12. Річний просторово-часовий розподіл концентрацій фенолу (А), формальдегіду (Б) та фтористого водню (В) в атмосферному повітрі м. Чернівці з побудованими на їх основі лініями тренду та визначеними для них регресійними залежностями

Таким чином, на основі кореляційного аналізу просторово-часових варіацій забруднювальних речовин в атмосферному повітрі м. Чернівці виявлено пряму кореляційну залежність із сильним зв'язком між діоксидом азоту та завислими речовинами, а також між діоксидом азоту та хлористим воднем. В результаті проведеного регресійного аналізу можна передбачити, що впродовж наступних місяців із середньою ймовірністю дещо зростатиме рівень фенолу, водночас спадатимуть вміст формальдегіду та частково фтористого водню.

3.3. Оцінка впливу полутантів на виникнення ризику для здоров'я населення

Ризик для здоров'я – це ймовірність отруєння, хвороби чи інших негативних наслідків у людини, яка зазнала впливу забрудника. Канцерогенний ризик визначає ймовірність виникнення пухлин, неканцерогенний – усіх інших хвороб. Оцінка ризику для здоров'я здійснюється відповідно до «Методологічних рекомендацій з оцінки ризику для здоров'я від забруднення повітря» затверджених Наказом Міністерства охорони здоров'я № 184 від 13 квітня 2007 року. Вона передбачає визначення небезпечних речовин, оцінку їх впливу, характеристику небезпеки і характеристику ризику (Методологічні рекомендації..., 2007).

Для характеристики неканцерогенного ризику використовують два показники: коефіцієнт небезпеки (HQ) та індекс небезпеки (HI). Коефіцієнт небезпеки (HQ) показує, у скільки разів концентрація певної речовини перевищує безпечний для здоров'я рівень. Сума коефіцієнтів небезпеки усіх речовин становить індекс небезпеки (HI). Якщо (HI) < 1 , то ризик виникнення шкідливих неканцерогенних ефектів є низьким. Зростання цього показника призводить до пропорційного зростання ризику для здоров'я (Методологічні рекомендації..., 2007).

Тому наступним етапом наших досліджень став аналіз ризику впливу досліджуваних забруднювальних речовин на здоров'я місцевого населення. Для цього ми скористалися загальноприйнятими та апробованими методологічними підходами щодо визначення коефіцієнта небезпеки (HQ) та індексу небезпеки (HI). Так, в результаті проведених нами обчислень встановлено, що, не зважаючи на допустимість концентрацій більшості досліджуваних забруднювальних речовин та незначне перевищення нормативних рівнів окремих політантів (описаних у підрозділі 3.1), індекси небезпеки та коефіцієнти небезпеки для здоров'я населення в усіх випадках за усередненими концентраціями виявилися вищими за 1 (табл. 3.2, 3.6), що є свідченням зростання потенційного ризику виникнення «залежних» хвороб (табл. 3.7). Відповідно до загальноприйнятих методичних підходів, принципів та міжнародної класифікації неканцерогенного ризику, аналізовані речовини створюють високий та насторожливий рівні ризику (Методологічні рекомендації..., 2007; Черниченко та ін., 2017).

В підсумку за усередненими середньодобовими концентраціями отримано сумарні коефіцієнти та індекси небезпеки для здоров'я населення (подекуди й відносно високі – наприклад у липні). Відмітимо, що у кожному сезоні виділяється місяць з відносно найвищими значеннями: літку – липень, восени – жовтень, взимку – грудень, навесні – квітень. А загалом за рік (рис. 3.12, 3.13).

Варто зазначити, що найбільша питома вага у формуванні неканцерогенного ризику HQ, незалежно від місяця та періоду року, належить формальдегіду (що у відсотковому співвідношенні становить від 65 % (у листопаді) до 96,8 % (у липні) від загальної кількості впливів політантів) (рис. 3.12). Подекуди незначна, але помітна частка впливу припадає і на діоксид азоту (від 1% – у липні, до 15 % – у листопаді).

Таблиця 3.6

Коефіцієнти небезпеки неканцерогенного ризику для населення м. Чернівці

Поллютант Місяць	Завислі речовини	Діоксид сірки	Оксид вуглецю	Діоксид азоту	Оксид азоту	Фенол	Формальдегід	Σ коефіцієнт небезпеки (HQ)
Червень	0.25	0.06	0.03	0.37	0.06	0.06	13.51	14.34
Липень	0.15	0.03	0.04	0.31	0.10	0.11	22.35	23.08
Серпень	0.13	0.04	0.04	0.39	0.06	0.14	14.31	15.11
Вересень	0.15	0.06	0.05	0.55	0.08	0.16	12.19	13.24
Жовтень	0.32	0.03	0.08	0.67	0.07	0.15	14.83	16.15
Листопад	0.53	0.05	0.18	0.67	0.11	0.06	2.98	4.59
Грудень	0.05	0.05	0.16	0.48	0.03	0.16	9.95	10.88
Січень	0.21	0.03	0.14	0.52	0.04	0.12	6.02	7.08
Лютий	0.24	0.04	0.07	0.57	0.09	0.25	4.10	5.36
Березень	0.10	0.02	0.06	0.33	0.04	0.14	1.59	2.30
Квітень	0.24	0.05	0.01	0.49	0.13	0.24	3.11	4.27
Травень	0.05	0.04	0.01	0.38	0.07	0.19	3.99	4.74
В середньому за рік	0.20	0.04	0.07	0.48	0.07	0.15	9.08	10.09

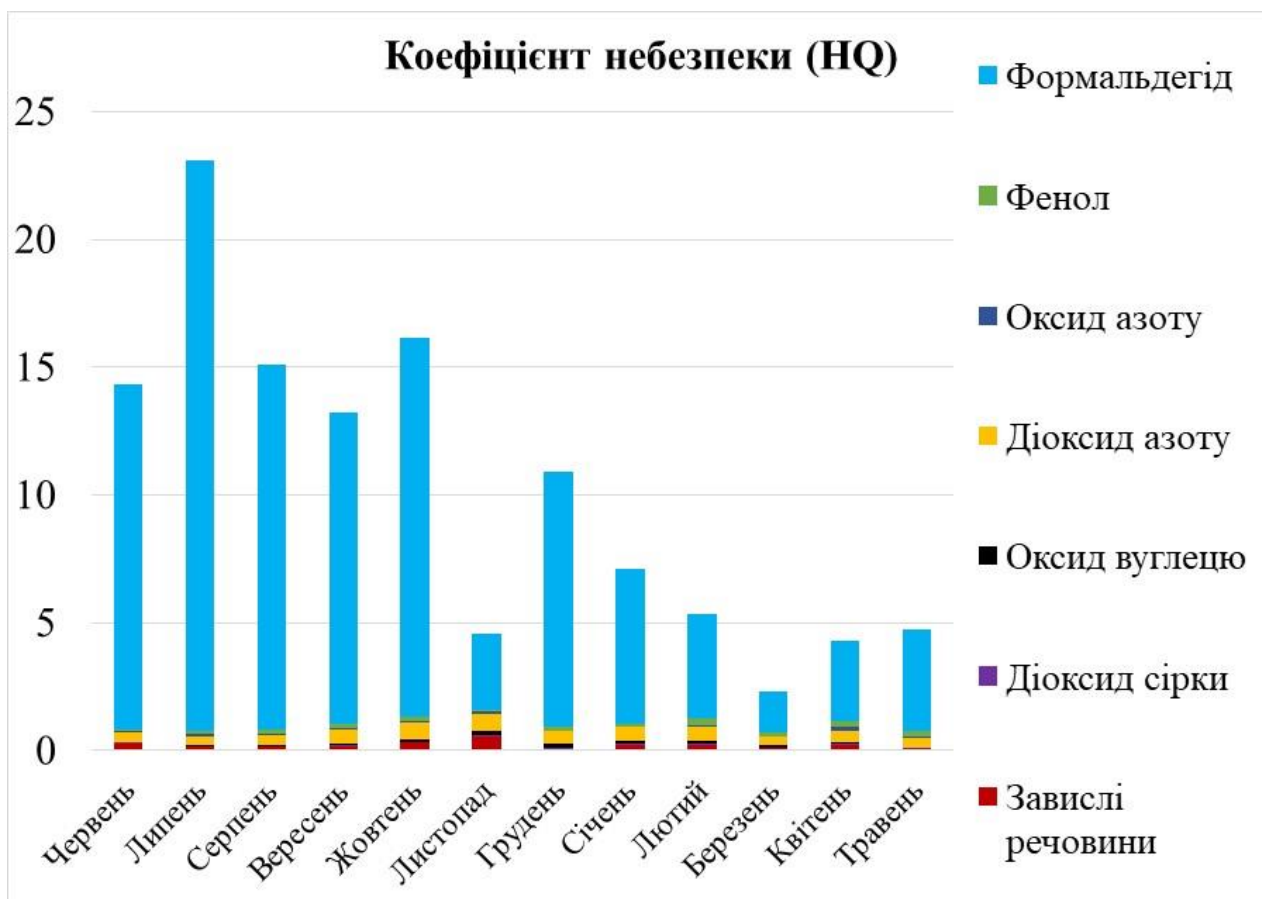


Рис. 3.12. Коефіцієнт небезпеки неканцерогенного ризику для населення та складові, що його формують

Частка впливу формальдегіду є суттєвою і при формуванні сумарного індексу небезпеки. Щоправда, в окремі місяці перерозподіл змінюється в сторону пріоритетного впливу діоксиду азоту (наприклад, у листопаді), фенолу (наприклад, у лютому), подекуди й хлористого водню (рис. 3.13).

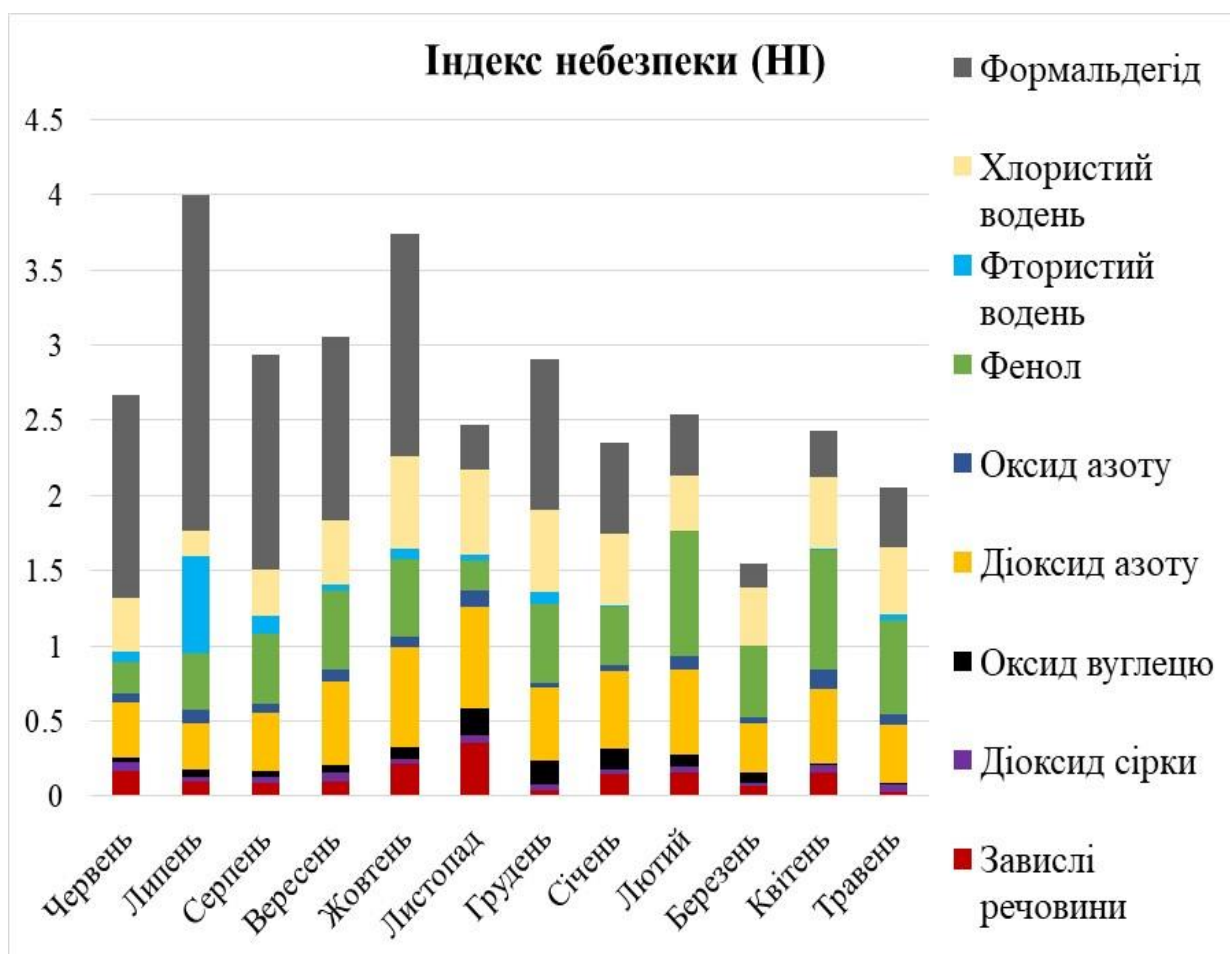


Рис. 3.13. Індекс небезпеки неканцерогенного ризику для населення та складові, що його формують

Оцінка ризику для здоров'я чернівчан також здійснювалася з урахуванням критерію ушкодження критичних органів та систем органів організму людини за інгалаційного впливу забруднювальних речовин, визначених в атмосферному повітрі м. Чернівці. Так, встановлено, що за існуючого виявленого якісного та кількісного складу полютантів у повітрі міста найбільш уразливими є органи дихання (табл. 3.7, 3.8). Адже людина в першу чергу стикається із забрудненнями вдихаючи їх, і негативна дія яких проявляється через кашель, задуху, подразнення слизових носової чи ротової порожнини, горла, верхніх дихальних шляхів, а у більш важких випадках, набряку легень з подальшим порушення роботи інших органів/систем органів. При цьому, сумарний індекс небезпеки (НІ)

для органів дихання в середньому за рік становить 10 і протягом року значно коливається: від 2 (у березні) до 23 (у липні). Найбільш відчутний вплив на дихальну систему спостерігається у літньо-осінній період (виняток – листопад місяць).

Таблиця 3.7

Критичні органи та системи органів, які в першу чергу підпадають під негативну дію досліджуваних забруднювальних речовин
(Методологічні рекомендації..., 2024)

Забруднювальна речовина	Критичні органи/системи органів
Завислі речовини	органи дихання, вроджені вади розвитку
Діоксид сірки (SO ₂)	органи дихання
Оксид карбону (CO)	кров, ССС, вроджені вади розвитку, ЦНС
Діоксид азоту (NO ₂)	органи дихання, кров (утворення MetHb)
Оксид азоту (NO)	органи дихання, очі, кров
Фенол (C ₆ H ₆ O)	ССС, нирки, ЦНС, печінка, органи дихання
Фтористий водень (HF)	органи дихання, кісткова система
Хлористий водень (HCl)	органи дихання, шкіра, очі, кров
Формальдегід (CH ₂ O)	органи дихання, очі, імунна система, рак

Таблиця 3.8

Оцінка ризику для здоров'я населення м. Чернівці за критерієм ушкодження критичних органів/систем органів організму людини за інгалаційного впливу забруднювальних речовин, виявлених в атмосферному повітрі

Забруднювальна речовина	Сумарний індекс небезпеки, НІ						
	органи дихання	вроджені вади розвитку	імунна система, рак	кров	ЦНС, ССС	очі	печінка, нирки
Червень	14.30	0.29	13.51	0.42	0.03	13.57	0.06
Липень	23.04	0.19	22.35	0.40	0.04	22.44	0.11
Серпень	15.07	0.17	14.31	0.45	0.04	14.37	0.14
Вересень	13.19	0.21	12.19	0.63	0.05	12.27	0.16
Жовтень	16.07	0.40	14.83	0.74	0.08	14.90	0.15
Листопад	4.41	0.71	2.98	0.78	0.18	3.09	0.06
Грудень	10.72	0.21	9.95	0.51	0.16	9.98	0.16
Січень	6.94	0.35	6.02	0.56	0.14	6.06	0.12
Лютий	5.29	0.31	4.10	0.66	0.07	4.19	0.25
Березень	2.23	0.16	1.59	0.37	0.06	1.63	0.14
Квітень	4.26	0.25	3.11	0.62	0.01	3.25	0.24
Травень	4.73	0.06	3.99	0.46	0.01	4.06	0.19
В середньому за рік	10.02	0.28	9.08	0.55	0.07	9.15	0.15

Також суттєвий вплив шкідливих речовин за визначеним НІ виявлено і для очей та імунної системи, сумарний середньорічний НІ яких становить 9,15 та 9,08 відповідно. В даному випадку, як і з дихальною системою, зберігається тенденція щодо «найризикованішого» літньо-осіннього періоду року для здоров'я населення.

Увагу варто звернути і на присутність та суттєвий вплив формальдегіду, який, як відомо, є канцерогенонебезпечним (Сердюк та ін., 2019) і в нашому випадку продемонстрував найбільшу частку питомої ваги його впливу серед інших полютантів (~65-97 %; рис. 3.12). Адже, незважаючи на незначне перевищення ГДК, потенційність канцерогенного ризику є насторожуючим фактом. Крім того, небезпечність зростає і за синергізму дії виявлених в цьому ж повітрі м. Чернівці діоксиду азоту та фенолу, які, як відомо, виступають модифікаторами канцерогенезу, обумовлюючи підсилення канцерогенного ефекту формальдегіду.

Таким чином, оцінюючи ситуацію в м. Чернівці загалом, за досліджуваним сумарним показником забруднення атмосферного повітря розцінюється як слабо небезпечне. Втім навіть такий виявлений якісний та кількісний склад забруднювальних речовин становить загрозу здоров'ю населення, що підтверджено на основні визначених коефіцієнту небезпеки та індексу небезпеки. Останні вказують, що найбільша ймовірність ураження існує для дихальної системи, очей, а також створюється негативний ефект, що провокує вроджені вади розвитку та виникнення ракової патології. Тобто, за критеріями неканцерогенного та канцерогенного ризику для здоров'я населення, забруднення повітряного середовища м. Чернівці не є на цілком безпечному рівні і потребує вжиття профілактичних заходів.

ВИСНОВКИ

- 1) На основі відкритих даних екологічної інформації проаналізовано річну динаміку змін концентрацій забруднювальних речовин (завислих речовин, діоксиду сірки, оксиду вуглецю, діоксиду та оксиду азоту, фенолу, фтористого та хлористого водню, формальдегіду) у атмосферному повітрі м. Чернівці за період з червня 2023 р. по травень 2024 р. і виявлено їх відповідність рівням ГДК, за винятком формальдегіду, вміст якого перевищував допустимі норми (переважно в літньо-осінній період). Втім, загалом, гігієнічна оцінка якості повітря міста за даним параметром визначається як слабо небезпечна.
- 2) З'ясовано, що впродовж року рівні SO_2 , NO_2 , NO , HCl , $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$ характеризувався відносно однорідною рівномірністю розподілу концентрацій. Натомість значну флуктуацію показників виявлено для вмісту завислих речовин, CO , CH_2O та HF , а їх кратності між співвідношеннями максимальних/ мінімальних величин сягали десятки, а іноді й сотні разів.
- 3) За допомогою статистичного опрацювання даних на підставі аналізу парного t-тесту за критерієм Стьюдента з поправкою Бонферроні, виявлено деякі сезонні відмінності. Зокрема, прослідковується тенденція щодо вищих концентрацій формальдегіду та фтористого водню у літньо-осінній період та їх зниження у зимово-весняний період, а також підвищення рівнів завислих речовин, оксиду карбону, діоксиду азоту, хлористого водню та оксиду нітрогену взимку, в порівнянні з літніми місяцями.
- 4) Кореляційний аналіз річних просторово-часових варіацій досліджуваних забруднювальних речовин продемонстрував пряму кореляційну залежність із сильним зв'язком між діоксидом азоту та завислими речовинами, а також між діоксидом азоту та хлористим воднем. На основі регресійного аналізу між розглянутими речовинами здійснено пошук моделей взаємозалежних зв'язків, виражених у функціях регресії. Так, можна спрогнозувати, що впродовж

наступних місяців із середньою ймовірністю дещо зростатиме рівень фенолу, водночас спадатимуть вміст формальдегіду та частково фтористого водню.

- 5) Не зважаючи на допустимість концентрацій більшості досліджуваних забруднювальних речовин та незначне перевищення нормативних рівнів окремих поліутантів, розраховані індекси небезпеки та коефіцієнти небезпеки для здоров'я населення в усіх випадках за усередненими концентраціями вказують на зростання потенційного ризику виникнення «залежних» хвороб. Так, встановлено, що за існуючого якісного та кількісного складу поліутантів у повітрі міста найбільш уразливими є органи дихання.
- 6) Виявлено, що з розглянутих шкідливих речовин найбільша питома вага негативного впливу належить канцерогенонебезпечному формальдегіду (на частку його дії серед інших поліутантів припадає ~65-97 %).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1) Антощенко Р. В., Галич І. В., Черепньов І. А., Адамова Г. В. Аналіз досліджень впливу сільськогосподарської механізації на довкілля, здоров'я операторів та агропродукцію. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. статей XX Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 19-20 вересня 2024 р.). УКРНДІЕП., 2024. С. 53–60.
- 2) Васенко О. Г., Черба О. В. Вплив бойових дій на довкілля України. хімічне забруднення. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. статей XX Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 19-20 вересня 2024 р.). УКРНДІЕП., 2024. С. 91–99.
- 3) Волкова Ю. В., Севальнєв А. І. Оцінка впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення. *Моніторинг, аналіз та оцінка ризиків стану здоров'я населення Запорізької області*: тези науково-практичних та наукових робіт. Запоріжжя, 2024. Вип. 64. С. 15–16.
- 4) Бешляга О. В., Вовкодав Г. М. Оцінка забруднення повітряного басейну міста Одеса фенолом. *Вісник гідрометцентру Чорного та Азовського морів*. 2019. №1 (23). С. 56–61.
- 5) Бордюг Н. С., Ращенко А. В., Лесь А. В. Розробка проєкту системи моніторингу атмосферного повітря. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. 2021. № 1. С. 15–19.
- 6) Гвоздарьова К. А. Особливості забруднення атмосферного повітря в Україні та їх наслідки. *Актуальні питання біотехнології, екології та природокористування*. 2024. Вип. 1. С. 139–141.
- 7) Глива В., Тихенко О., Краснянський Г., Зозуля С. Дослідження динаміки концентрацій атмосферних аерозолів, пилу та аероіонів. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*, 2024. № 1 (75). С. 174–176.
- 8) Головне управління статистики у Чернівецькій області : веб-сайт. URL :

- <http://www.cv.ukrstat.gov.ua/main.htm> (дата звернення 10.10.2024).
- 9) Гончарук В., Парахненко В., Соколов С., Скаковський С. Роль громадськості України у збереженні лісів від інвазивних видів. *Наука і техніка сьогодні*. 2024. № 9. С. 37.
 - 10) Дудоров О. Письменський Є. Забруднення атмосферного повітря як злочин проти довкілля: законодавчий, правозастосовний і теоретичний аспекти. *Науковий вісник НДІ проблем досудового розслідування*. 2024. № 2. С. 1–51.
 - 11) Дмитрієва О. О., Варламов Є. М., Квасов В. А., Палагута О. А., Нестеренко Л. М., Нестеренко У. Ю. Стан мережі спостереження за атмосферним повітрям в Україні та її відповідність вимогам директиви 2008/50/ЄС. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2016. № 1 (38). С. 99–110.
 - 12) Ільків Н. Перспективи цифровізації екологічних відносин. *Правові виклики сучасності: законодавче реагування на геополітичні й історичні проблеми* : Матеріали IV Міжнар. наук.-практ. онлайн конф. (Чернівці, 24 листопада 2023 року) / [редкол.: Н. Д. Гетьманцева (голова), О. В. Кіріак (відпов. секр.) та ін.]. Чернівці : Чернівець. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2023. С. 142–144.
 - 13) Іщук С. О., Коваль Л. П. Потенціал розвитку деревообробних виробництв у західному регіоні України та напрями його реалізації. *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*. 2020. Вип. 1 (141). С. 45–51.
 - 14) Кагукіна А. М., Пацева І. Г. Аналіз показників монооксиду вуглецю, діоксиду азоту та аміаку в повітряному басейні міста Житомир за даними громадського моніторингу повітря ЕСOCITY. *Екологічні науки*. 2024. № 3 (54). С. 23–31.
 - 15) Карпа М. Державна екологічна політика у сфері забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку в Україні. *Публічне управління: концепції, парадигма, розвиток, удосконалення*. 2024. № 7. С. 57–65.
 - 16) Коваленко В. В., Матусевич В. В., Соколовська Н. Б., Яцишин А. В. Особливості розвитку компетентності з відкритої науки в аспірантів та

- вчених у цифровому суспільстві. *Освіта та розвиток обдарованої особистості*. 2024. № 2 (93). С. 32–39.
- 17) Методичні рекомендації МР 2.2.12-142-2007. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря: затв. Наказ МОЗ України від 13.04.07 р. № 184. Київ: МОЗ України. 2007. № 40. : веб-сайт. URL : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26866 (дата звернення 10.10.2024).
 - 18) Методичні рекомендації. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря (затв. Наказом МОЗ України від 17.01.2022 № 89) : веб-сайт. URL : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26866 (дата звернення 01.11.2024).
 - 19) Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Екологічний моніторинг довкілля. : веб-сайт. URL : <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/ekologichnyj-monitoryng-dovkillya/> (дата звернення 02.11.2024).
 - 20) Міщук О. С. Прогнозування параметрів забруднення атмосферного повітря за допомогою лінійних нейроподібних структур. *Побудова інформаційного суспільства: ресурси і технології*: матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 19-20 вересня 2019 р.). Київ: УкрІНТЕІ, 2019. С. 275–281.
 - 21) Пацева І. Г., Кагукіна А. М. Аналіз стану атмосферного повітря міста Житомира. *Слобожанський науковий вісник. Сер. Природничі науки*. 2024. № 1. С. 77–81.
 - 22) Робулец С. В., Сивак В. К. Государственное регулирование и состояние экологической безопасности региона Черновицкой области. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2017. № 14. С. 223–230.
 - 23) Руденко С. С., Том'юк А. В., Костишин С. С. Порівняльний аналіз

- ефективності застосування апостеріорних тестів у когортному аналізі (на прикладі *melanogaster*). *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. 2019. VII (24), (200). P. 39–44.
- 24) Стан атмосферного повітря. Чернівці. : веб-сайт. URL : <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/ekologichnyj-monitoryng/stan-atmosfernogo-povitrya/chernivtsi/>. (дата звернення 17.07.2024).
- 25) Стан доступу до екологічної інформації в формі відкритих даних в Україні : веб-сайт. URL : <https://www.saveecobot.com/static/environmental-data-status> (дата звернення 10.10.2024).
- 26) Черниченко І. О., Литвиченко О. М., Соверткова Л. С., Баленко Н. В., Остап О. М., Смирнова Г. І. Наукове обґрунтування методичних підходів та принципів визначення внеску канцерогенних речовин повітряного середовища у формування онкологічної захворюваності. *Актуальні питання захисту довкілля та здоров'я населення України*. 2017. № 3. С. 37–71.
- 27) Чернецька А. М. Забруднення атмосфери в Умані та основні довкільні проблеми сьогодення. *Сталий розвиток – XXI століття. Дискусії 2023* : матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції. 2024. Вип. 1. С. 306–314.
- 28) Швагер О. В., Кучеренко О. С. Сучасні підходи до оцінки стану забруднення атмосферного повітря та його безпеки для здоров'я населення. *Екологічні та гігієнічні проблеми сфери життєдіяльності людини*: Матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю (Київ, 15 березня 2023 р.). К.: МВЦ «Медінформ», 2023. С. 214–215.
- 29) Юрченко А. І., Полозенцева В. О., Юрченко О. А. Вплив сільського господарства на довкілля. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: зб. наук. статей XX Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 19-20 вересня 2024 р.). УКРНДІЕП., 2024. С. 53–60.
- 30) Ярцев В. І., Бобошко В. С., Пегіяхатии М. М., Рябых В. М., Титарь В. П.,

- Третьяков О. В., Фесенко П. Д. Створення системи екологічного моніторингу атмосферного повітря у промислово навантажених районах міста. *Екологія і промисловість*. 2012. № 2. С. 108–112.
- 31) Явкік В., Круль Г. Я., Брик С. Д. Небезпеки забруднення повітря екскурсійно-привабливого міста (на прикладі Чернівців). *Культурний ландшафт як географічний феномен* : Матеріали Міжнар. Наук. Конф. (23-25 вересня, 2021). Чернівці : Чернівецький нац. ун-т., 2021. С. 118-121.
 - 32) Яценко Ю., Шевченко О., Сніжко С. Класифікація міст України за рівнем забруднення атмосферного повітря. *Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка. Серія: Географія*. 2017. № 3 (68). 4 (69). С. 25–30.
 - 33) Cheng M. D. Atmospheric chemistry of hydrogen fluoride. *Journal of Atmospheric Chemistry*. 2018. Vol. 75 (1). P. 1–16.
 - 34) Fan H., Zhao C., Yang Y., Yang X. Spatio-temporal variations of the PM_{2.5}/PM₁₀ ratios and its application to air pollution type classification in China. *Frontiers in Environmental Science*. 2021. Vol. 9. 692440.
 - 35) Hettiarachchi E., Grassian V. H. Heterogeneous Reactions of Phenol on Different Components of Mineral Dust Aerosol: Formation of Oxidized Organic and Nitro-Phenolic Compounds. *ACS Es&t Air*. 2024. Vol. 1 (4). P. 259–272.
 - 36) Kulakova E. S., Safarov A. M., Safarova V. I., Malkova M. A., Kantor E. A. Phenol monitoring in the air of the city residential part. *Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 579. No. 1. 012102.
 - 37) Shen H., Xue L., Zhang G., Zhu Y., Zhao M., Zhong X., ... & Wang W. Marine sources of formaldehyde in the coastal atmosphere. *Science Bulletin*. 2024 : URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2095927324006753> (дата звернення 21.10.2024).
 - 38) Guo Y., Wang S., Zhu J., Zhang R., Gao S., Saiz-Lopez A., Zhou B. Atmospheric formaldehyde, glyoxal and their relations to ozone pollution under low-and high-NO_x regimes in summertime Shanghai, China. *Atmospheric Research*. 2021. Vol.

258. P. 105635.
- 39) Li M., Yu S., Li P., Chen X., Song Z., Liu W., ... & Seinfeld, J. H. Unrecognized pollution by inorganic condensable particulate matter in the atmosphere. *Environmental Chemistry Letters*. 2024. Vol. 22 (1). P. 49–56.
 - 40) Liu Z., Shen L., Yan C., Du J., Li Y., Zhao H. Analysis of the Influence of Precipitation and Wind on PM_{2.5} and PM₁₀ in the Atmosphere. *Advances in Meteorology*. 2020. Vol. 145 (1). 5039613.
 - 41) Maciejewska K. Short-term impact of PM_{2.5}, PM₁₀, and PM_c on mortality and morbidity in the agglomeration of Warsaw, Poland. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2020. Vol. 13 (6). P. 659–672.
 - 42) Tasdemir C., Yildirim Y., Uysal M., Angin N., Ertas M. Investigation of indoor noise pollution level and air quality of furniture manufacturers. *BioResources*. 2024. Vol. 19 (2). P. 3571.
 - 43) Wang H., Zhou J., Li X., Ling Q., Wei H., Gao L., Ding Y. Review on recent progress in on-line monitoring technology for atmospheric pollution source emissions in China. *Journal of Environmental Sciences*. 2023. Vol. 123. P. 367–386.
 - 44) Yildiz C., Richter M., Ströhle J., Eppe B. Pollutant Formation under Nitrogen and Carbon Dioxide Atmosphere of Torrefied Poplar in an Entrained Flow Reactor. *Energy & Fuels*. 2024. Vol. 38 (9). P. 8157–8167.
 - 45) Ziernicka-Wojtaszek A., Zuśka Z., Kopcińska J. Assessment of the effect of meteorological conditions on the concentration of suspended PM_{2.5} particulate matter in central Europe. *Sustainability*. 2024. Vol. 16 (11). P. 479–492.
 - 46) Zuśka Z., Kopcińska J., Dacewicz E., Skowera B., Wojkowski J., Ziernicka-Wojtaszek A. Application of the Principal Component Analysis (PCA) method to assess the impact of meteorological elements on concentrations of particulate matter (PM₁₀): a case study of the mountain valley (the Sącz Basin, Poland). *Sustainability*. 2019. Vol. 11. Vol. 674–683.