

УДК 504.3.054

Василь Олександрович Фесюк,

д. геогр. н., професор, зав. кафедри фізичної географії
Волинського національного університету імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, 43025, Україна,
e-mail: fesyuk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3954-9917>;

Ірина Анатоліївна Мороз,

к. хім. н., доцент, доцент кафедри матеріалознавства
Луцького національного технічного університету, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43000, Україна,
e-mail: moroz.iryndal@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9167-4876>

СУЧАСНИЙ СТАН ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. ЛУЦЬКА

Забруднення атмосферного повітря міст є важливим чинником, що впливає на якість життя і стан здоров'я жителів міських населених пунктів. Воно підвищується внаслідок урбанізації, розвитку промислових та транспортних комплексів міст. Ці ж тенденції характерні і для стану забруднення атмосферного повітря м. Луцька. В останні роки рівень його забруднення оцінюється як високий. А в першому півріччі 2018 р. Луцьк потрапив до трійки міст із найвищим рівнем забруднення атмосферного повітря в Україні, хоч місто не є крупним індустріальним центром. Проаналізовано структуру викиду забруднюючих речовин. Встановлено, що зросла частка викидів від пересувних джерел, перш за все, автотранспорту від 61,4 % в 1990 р. до 92,2% у 2015 р. і 94,6% у 2020 р. Серед поллютантів найбільша частка припадала на оксид вуглецю (30%), діоксид азоту (19%), інші сполуки азоту (24%), неметанові леткі органічні сполуки (9%), тверді суспендовані частки (8%). За період з 2009 р. і до нашого часу величина індексу забруднення атмосфери (ІЗА) для м. Луцька змінюється в межах 7,7-10,49, що відповідає градації високого рівня забруднення. Величина ІЗА децю зменшувалась до 2015 р., а потім збільшувалась до 2018 р. Місце Луцька в переліку (рейтингу) найбільш забруднених міст України корелює із величиною ІЗА міста: у 2013-14 р.р. ІЗА був відносно невисокий (7,99-8,55), місто займало 22 сходинку рейтингу. З 2016 р. ІЗА для м. Луцька почав збільшуватись і місто почало підніматись в рейтингу від 9 до 7 сходинки. В атмосферному повітрі міста постійно перевищують ГДК концентрації діоксиду азоту, фенолу та формальдегіду. Тому зменшення забруднення атмосферного повітря є найважливішим напрямом міської екологічної політики, а зменшення викидів саме від пересувних джерел, зокрема, від автотранспорту – найбільш пріоритетним заходом.

Ключові слова: атмосферне повітря, забруднююча речовина, індекс забруднення атмосфери, рівень забруднення, стаціонарні джерела викидів, пересувні джерела викидів, моніторинг забруднення атмосферного повітря, заходи зменшення забруднення атмосферного повітря.

В. А. Фесюк, І. А. Мороз. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Г. ЛУЦЬКА. Загрязнения атмосферного воздуха городов является важным фактором, который влияет на качество жизни и состояние здоровья жителей городских населенных пунктов. В то же время оно повышается из-за урбанизации, развития промышленных и транспортных комплексов городов. Эти же тенденции характерны и для состояния загрязнения атмосферного воздуха г. Луцка. В последние годы уровень его загрязнения оценивается как высокий. А в первом полугодии 2018 г. Луцк попал в тройку городов с самым высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха в Украине, хотя город не является крупным индустриальным центром. Проанализирована структура выброса загрязняющих веществ. Установлено, что выросла доля выбросов от передвижных источников, прежде всего, автотранспорта от 61,4% в 1990 г. до 92,2% в 2015 г. и 94,6% в 2020 г. Среди поллютантов наиболее выбрасывается оксида углерода (30%), диоксида азота (19%), других соединений азота (24%), неметановых летучих органических соединений (9%), твердых взвешенных частиц (8%). За период с 2009 г. и до настоящего времени величина ИЗА для г. Луцка изменяется в пределах 7,7-10,49, что соответствует градации высокого уровня загрязнения. Величина ИЗА несколько уменьшалась до 2015, а затем увеличивалась до 2018 г. Место Луцка в списке (рейтинга) наиболее загрязненных городов Украины коррелирует с величиной ИЗА города: в 2013-14 г.г. ИЗА был относительно невысок (7,99-8,55), город занимал 22 строчку рейтинга. С 2016 ИЗА для г. Луцка начал увеличиваться и город начал подниматься в рейтинге с 9 до 7 ступени. В атмосферном воздухе города постоянно превышают ПДК концентрации диоксида азота, фенола и формальдегида. Поэтому уменьшение загрязнения атмосферного воздуха является важнейшим направлением городской экологической политики, а уменьшение выбросов именно от передвижных источников, в частности, от автотранспорта – наиболее приоритетным мероприятием.

Ключевые слова: атмосферный воздух, загрязняющее вещество, индекс загрязнения атмосферы, уровень загрязнения, стационарные источники выбросов, передвижные источники выбросов, мониторинг загрязнения атмосферного воздуха, мероприятия уменьшения загрязнения атмосферного воздуха.

Вступ. Серед чинників, що визначають якість життя і стан здоров'я жителів міських населених пунктів, одним із найважливіших є рівень забрудненості атмосферного повітря міст. Забруднення повітря спричинює збільшення захворюваності та смертності в світі, зокрема, понад 80% захворювань тією чи іншою мірою залежать від якості повітря. Забруднене повітря міст є причиною передчасної смерті мільйонів людей у всьому світі. Причому більшість із цих людей можуть навіть не знати про рівень забруднення ат-

мосферного повітря.

Існує тісна кореляція між забрудненням атмосферного повітря в містах та рівнем захворюваності населення, зокрема, на хвороби органів дихання, кровообігу, алергій різноманітного походження. В науковій урбоекологічній літературі навіть існує термін «типово міські хвороби».

Забруднення атмосферного повітря міст на сьогодні можливо навіть ідентифікувати з використанням багатозональних космічних знімків та багатьох інтернет-сервісів, які дають змогу відс-

лідкувати стан забруднення атмосфери в місті в режимі реального часу.

Тому проблема забруднення атмосферного повітря міст є дуже важливою і вимагає ґрунтовних наукових досліджень, які могли б лягти в основу розробки ефективних загальнонаціональних та регіональних програм зменшення забруднення атмосфери та захворюваності населення.

Актуальність дослідження забруднення атмосферного повітря підвищується у зв'язку із урбанізацією, розвитком промислових та транспортних комплексів міст, підвищенням інтересу громадян до якості середовища їх життя.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблемі оцінки забруднення атмосферного повітря присвячена значна кількість робіт. Багато таких досліджень здійснено для міст України. Так, зокрема, стаття [26] присвячена оцінці і аналізу забруднення атмосферного повітря м. Одеси, [4] – м. Харкова, [24-25] – міст Північно-Західного Причорномор'я, [23] – м. Миколаїв, [13] – м. Херсона, [18] – м. Києва, [38] – м. Дніпра, [7] – міст Чернігівської області, або й загалом території України [3, 5, 10, 11, 27]. Проводяться такі дослідження і за кордоном. Наприклад, російськими дослідниками вивчався вплив забрудненості атмосферного повітря на стан здоров'я населення міст Єкатеринбургу [1], Новгороду [2], Казані [21], інших міст Росії [12]. Відомі також роботи, присвячені оцінці та аналізу забруднення атмосферного м. Дублін [34], м. Мехіко [41], впливу забруднення атмосферного повітря на стан здоров'я населення Китаю старшого віку [36], оцінці якості повітря в м. Санвей-Сіті (Малайзія) [30], порівняльній оцінці забрудненості повітря 20 міст Індії [35], міст Парижа і Лондона [33], оцінці впливу забруднення атмосферного повітря на стан здоров'я населення Шотландії та отримання вигоди від зменшення концентрації поллютантів в центрах міст [39], просторовому зв'язку між забрудненням повітря та шумом у містах Данії [34], взаємозв'язку забруднення атмосферного повітря, здоров'я населення та викидів автотранспорту [42], оцінці взаємозв'язку атмосферного забруднення та алергії в м. Рим [32] тощо.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Стаття присвячена дослідженню забруднення атмосферного повітря м. Луцька. В останні роки рівень його забруднення оцінюється як високий. А в першому півріччі 2018 р. Луцьк взагалі потрапив до трійки міст із найвищим рівнем забруднення атмосферного повітря в Україні. І це при тому, що місто не є великим промисловим центром. Тут практично відсутні підприємства, які відносяться до екологічно «брудних» галузей. Тому питання якості

повітря у місті є дуже актуальним, має значний соціальний резонанс. Результати дослідження забруднення атмосферного повітря в контексті оцінки екологічного стану території частково наведені у монографіях [16] (за період 1990-2000 р.р.) та [20,22-23] (за період 2000-2010 р.р.). Але в останні роки тенденції дещо змінились, а тому оцінка забруднення атмосферного повітря у місті вимагає суттєвого уточнення.

Формулювання мети статті. Метою дослідження є визначення особливостей сучасного рівня забруднення атмосферного повітря м. Луцька за багаторічний період (2011-2019 рр.), причин та його формування та окреслення основних заходів для зниження рівня забруднення.

Матеріали та методи. Під час підготовки статті використані матеріали власних досліджень екологічного стану території м. Луцька, а також результати лабораторних досліджень забруднення атмосферного повітря на стаціонарних постах у місті, проведених Комплексною лабораторією спостережень за забрудненням природного середовища Волинського обласного центру з гідрометеорології (ЦГМ). Методи дослідження – експедиційний (для дослідження екологічного стану міської території), методи математичної статистики (для статистичної обробки результатів моніторингу), експертної оцінки (для встановлення причин забруднення та екологічних ризиків).

Для оцінки застосований індекс забруднення атмосфери (ІЗА) і комплексний ІЗА (КІЗА), які на даний час є одними з основних показників якості атмосферного повітря в Україні [4, 26]. Для класифікації рівня забруднення використано індекс КІЗА, який враховує дані про 5 забруднюючих речовин, для яких значення часткових індексів найвищі. Градація цього комплексного показника: до 2,5 – умовно чисте атмосферного повітря; 2,5-7,5 – слабозабруднене повітря; 7,6-12,5 – забруднене; 12,6-22,5 – сильнозабруднене; 22,6-52,5 – брудне; понад 52,5 – екстремально брудне.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Луцьк – адміністративний, економічний і культурний центр Волинської області. Місто розташоване на обох берегах р. Стир (притоки р. Прип'ять). У транспортному відношенні місто є залізничним вузлом, вузлом автомобільних доріг. Окрім того, тут знаходиться річкова пристань та аеропорт.

Луцьк розташований в південно-східній частині Волинської області. Економіко-географічне розташування міста дуже сприятливе. Луцьк знаходиться на невеликій відстані від інших великих міст Західної України і з'єднаний з ними автомобільними магістралями. Крім того, через місто проходять автодороги міждержавного зна-

чення, що сполучають Україну з Польщею та Білоруссю. Найближча відстань від міста до державного кордону з Польщею близько 105 км (через прикордонний пропускний пункт Устилуг).

Територія міста на сьогодні становить (за даними міського управління архітектури та містобудування) більше 5400 га (54 км²). Чітко простежується тенденція до збільшення площі міста: в 1980 р. вона становила 3810 га, у 1990 р. – 4280 га, зараз – 5364 га. Площа під забудовою становить близько 3500 га, зелені насадження – 1900 га, із них майже 500 га загального користування. Розростаючись, місто асимілює навколишні села. Цей процес продовжується і зараз. Його інтенсивність сьогодні прямо пропорційно залежить від збільшення вартості земельних ділянок під забудову та проведення виробничої діяльності. Тому площа міста зростатиме і надалі.

Природні умови території міста досить сприятливі для заселення та ведення господарства. Спеціалізацію Луцька в загальноукраїнському та міжнародному поділі праці визначають машинобудування та металообробка, легка і харчова, хімічна промисловість та індустрія будівельних матеріалів.

Підприємства розміщені на території міста нерівномірно. Найбільше їх скупчення у північно-східній та південно-східній частинах міста. Саме підприємства цих районів “забезпечують” більшу частину викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел. Аналізуючи розміщення промислових підприємств по території міста можна зробити висновки, що [23]:

- об’єктивно існують чотири промислових зони (північно-східна, південно-східна, південно-західна, західна);

- станом на сьогодні промислові підприємства різного класу шкідливості опинились у зонах житлової забудови;
- санітарно-захисні зони (СЗЗ) на окремих підприємствах відсутні, а на більшості не відповідають своєму призначенню та використовуються з порушенням режиму;
- роль санітарно-захисних зон у старопромилових районах відіграє комунально-складська забудова, розташована навколо промислових підприємств, що відділяє підприємства від житлових масивів.

Також суттєвим джерелом забруднення атмосферного повітря міста є транспорт. Кількість автотранспорту в місті зростає з року в рік. До місцевого транспорту як джерела забруднення приєднуються також транзитні потоки. Найбільшою проблемою міського транспортного комплексу є відсутність повних за охопленням міста кільцевих (об’їзних) доріг, поганий стан дорожнього покриття, перевантаженість окремих вулиць внаслідок низької пропускної спроможності та нераціональна структура транспортних потоків.

Аналіз динаміки викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря (рис. 1) у місті чітко виявляє тенденцію до їх зменшення від стаціонарних джерел у порівнянні з початком 90-х років ХХ ст. Так вже починаючи з 2012 р. викиди забруднюючих речовин від стаціонарних джерел у місті не перевищують 1 тис. т за рік. Зменшення величини викиду у 2018-19 р.р. зумовлені тим, що одне з найбільших підприємств-забруднювачів змінило адресу реєстрації з м. Луцька на Луцький район. Проте викиди воно і надалі здійснює.

Натомість у структурі забруднення зростає частка викидів від пересувних джерел, перш за

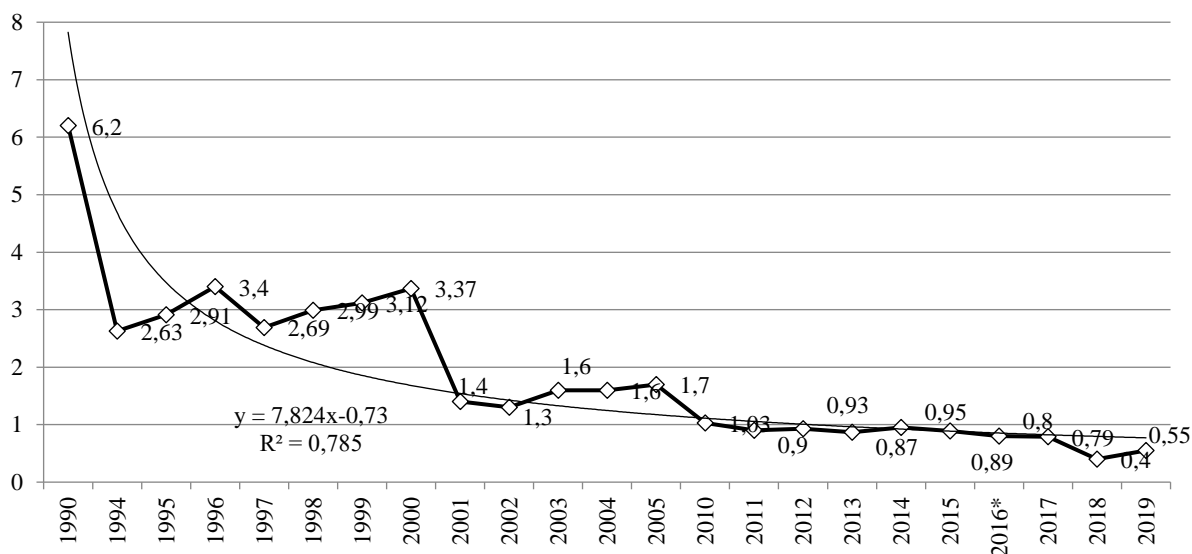


Рис. 1. Викиди забруднюючих речовин від стаціонарних джерел, тис. т

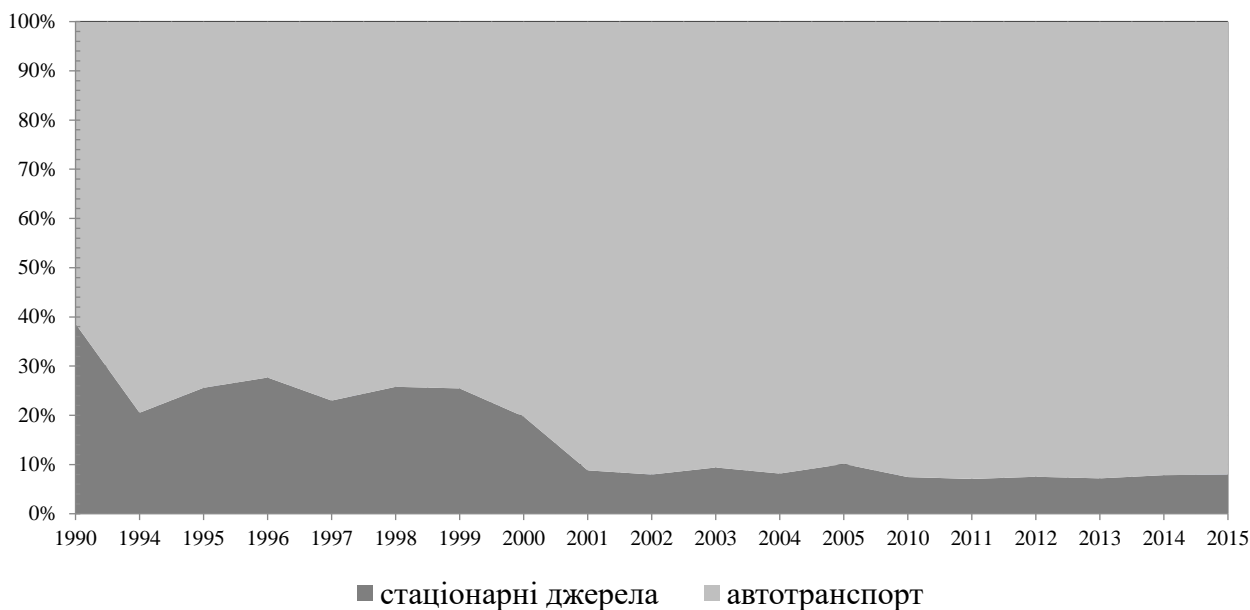


Рис. 2. Структура викиду забруднюючих речовин в атмосферне повітря у м. Луцьку

все, автотранспорту (рис. 2): в 1990 р. вона становила 61,4%, в 1995 р. – 75,8%, в 2000 р. – 80,0%, в 2005 р. – 91,1%, в 2011 р. – 91,3%, в 2015 р. – 92,2%. Об'єм викидів шкідливих речовин у цілому зменшувався синхронно розвитку економічної кризи (зокрема, скороченню промислового виробництва). Сьогодні надзвичайно гостро стоїть питання боротьби із забрудненням атмосфери не стільки стаціонарними джерелами (промисловістю), скільки автотранспортом, кількість якого в місті постійно збільшується. Починаючи від 2016 р. дані по викидах забруднюючих речовин пересувними джерелами у статистичних бюлетенях не наводяться. Тому на сьогодні даними офіційної статистики оцінити викиди від пересувних джерел неможливо. Використання методу екстраполяції степеневі функцією дозволило наближено визначити частку пересувних джерел у структурі викиду забруднюючих речовин в атмосферне повітря станом на 2020 р. – 94,58%. Коефіцієнт детермінації при цьому становив 0,961. Отже, починаючи з 2005 р. і до нашого часу «вклад» пересувних джерел у забруднення атмосферного повітря м. Луцька змінюється в межах 90-95% (рис. 2). Тобто саме автотранспорт, найбільшою мірою, зумовлює забруднення повітря у місті.

За інформацією Регіонального сервісного центру ГСЦ МВС у Волинській області в м. Луцьку станом на 20.07.2020 р. зареєстровано 37115 одиниць транспортних засобів. Реально їх набагато більше, оскільки далеко не всі автомобілі мають місцеву реєстрацію.

Цікаво виглядає також динаміка забруднення атмосферного повітря міста протягом останнього десятиліття. Тренд сумарного забруднення

повітря і забруднення пересувними джерелами буквально співпадають. Коефіцієнт кореляції між ними становить 0,95, в той час між сумарним та стаціонарними джерелами – 0,15. Динаміка викидів забруднюючих речовин з достатньою достовірністю апроксимується поліномами (коефіцієнт детермінації 0,9-0,95).

В структурі викиду забруднюючих речовин стаціонарними джерелами (рис. 3) у 2019 р. найбільша частка припадала на оксид вуглецю (30%), діоксид азоту (19%), інші сполуки азоту (24%), неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС – 9%), тверді суспендовані частки (8%).

Моніторинг забруднення атмосферного повітря в місті здійснюється Волинським обласним центром з гідрометеорології. У м. Луцьку функціонує три стаціонарних пости спостереження за забрудненням повітря (ПСЗ). Згідно з «Програмою спостережень за забрудненням навколишнього природного середовища», затвердженої Наказом МВС України №931 від 16.11.2018 р., та «Порядком здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря», затвердженого Постановою КМ України № 827 від 14.08.2019 р., така кількість постів є достатньою для міста з чисельністю населення міста 217,315 тис. чол. (станом на 1.01.2020 р.).

Розміщення постів спостереження ілюструє рис. 4.

Територіальне розміщення цих постів не випадкове. Два з них (№5, №7) знаходяться в межах відповідно південно-східної та північно-східної промислових зон міста, а третій (№4) – в центрі міста на заплаві р. Сапалаївка, тут знаходиться рекреаційна зона вздовж річки від вул. Шопена до вул. Чехова. Як уже зазначалось вище,

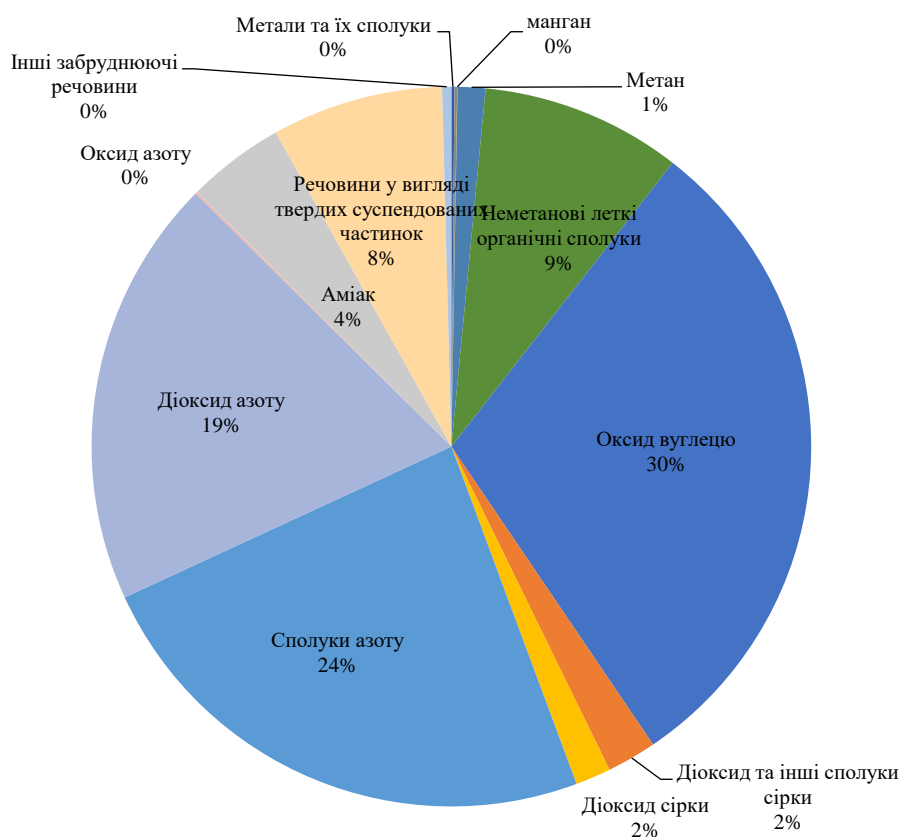


Рис. 3. Структура викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами у 2019 р.

в місті можна виділити 4 промислові зони. Згадані південно-східна та північно-східна є найбільшими за площею, кількістю підприємств та щільністю стаціонарних джерел забруднення атмосфери на цих підприємствах.

За інформацією Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського, м. Луцьк регулярно потрапляє до переліку міст України із найвищим рівнем забруднення атмосферного повітря (рис. 5) [17].

Як видно з рис. 5, за період з 2009 р. і до нашого часу величина ІЗА для м. Луцька змінюється в межах 7,7-10,49. Тобто весь цей час ІЗА відповідає градації високого рівню забруднення (за методикою Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського) або забрудненому повітрю (за методикою [28]). Величина ІЗА дещо зменшувалась у порівнянні із 2010 р. до 2015 р., а потім – збільшувалась до 2018 р. У 2019 р. вона знов зменшилась до мінімального рівня 2015 р.

Місце Луцька в переліку (рейтингу) найбільш забруднених міст України корелює із величиною ІЗА міста (рис. 6). Так, наприклад, у 2013-14 р.р. значення ІЗА було відносно невелике (7,99-8,55), місто займало 22 сходинку рейтингу. З 2016 р. значення ІЗА для м. Луцька почало

збільшуватись і місто почало підніматись в рейтингу з 9 до 7 сходинки [17].

У 2019 р., за усередненими даними спостережень на трьох стаціонарних постах, рівень забруднення атмосферного повітря м.Луцька характеризувався наступними показниками у порівнянні із ГДК середньодобовою: середньорічна концентрація пилу досягала 0,60 ГДК, діоксиду сірки – 0,03 ГДК, оксиду вуглецю – 0,12 ГДК, діоксиду азоту – 2,06 ГДК, оксиду азоту – 0,61 ГДК, фенолу – 1,77 ГДК, формальдегіду – 1,83 ГДК. Перевищення мало місце за вмістом діоксиду азоту, фенолу і формальдегіду (табл. 1). Порівняно із 2018 р. спостерігалось зростання середньорічних концентрацій пилу з 0,56 до 0,6 ГДК. Навпаки, зменшення середньорічних концентрацій у 2019 р. спостерігалось за вмістом: діоксиду сірки – з 0,04 до 0,03 ГДК, діоксиду азоту – з 2,37 до 2,06 ГДК, оксиду азоту з 0,93 до 0,61 ГДК, фенолу з 1,83 до 1,77 ГДК, формальдегіду з 3,13 до 1,83 ГДК. За матеріалами Волинського ЦГМ протягом 2019 р. спостерігалось 175 випадків перевищення ГДК (232 випадків у 2018 р.). З них 81 випадок – по діоксиду азоту, 93 – по фенолу, 1 – по формальдегіду [9].

У 2018 р., за усередненими даними спостережень на трьох стаціонарних постах мали місце

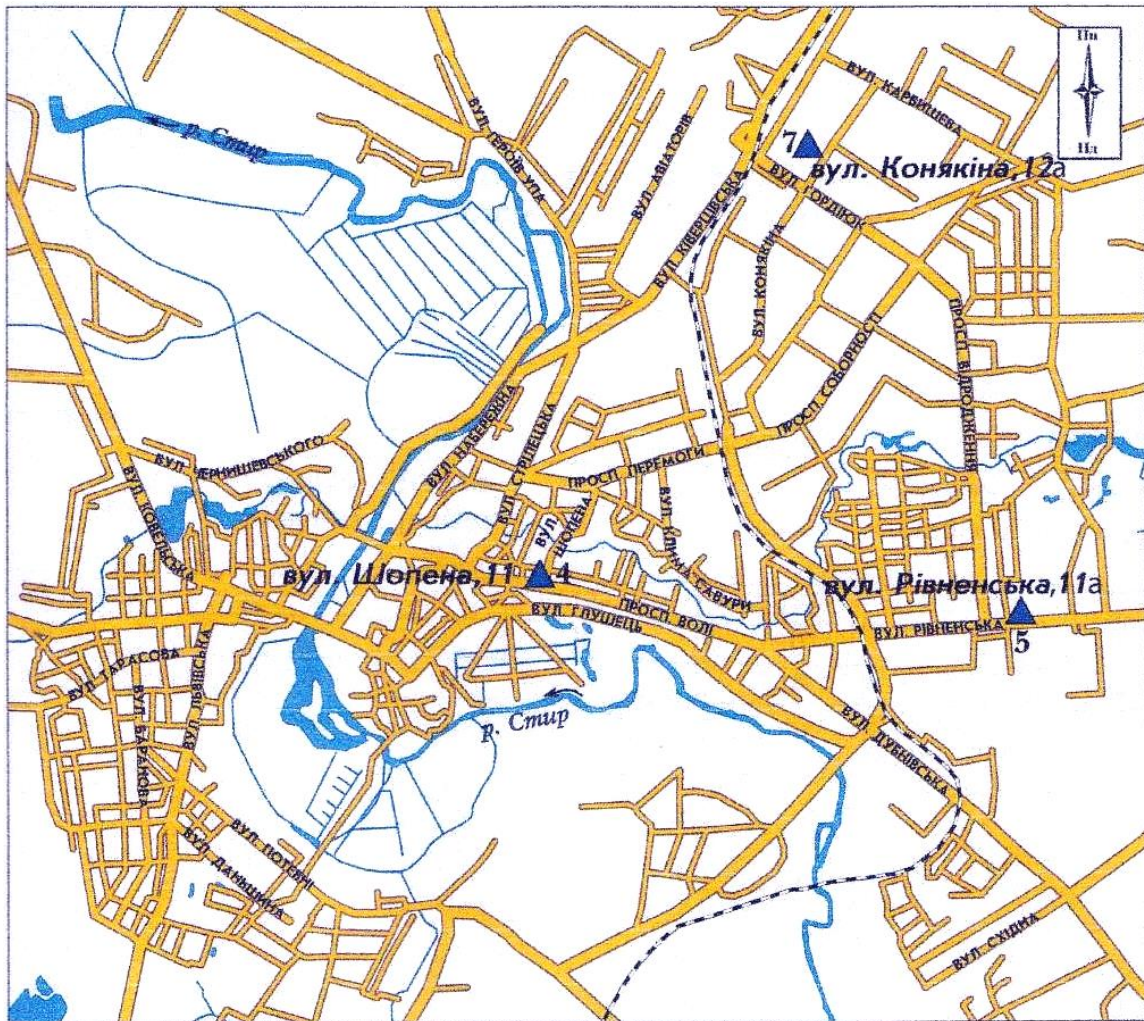


Рис. 4. Схема розміщення стаціонарних постів спостереження за забрудненням атмосферного повітря Волинського центру з гідрометеорології у м. Луцьку

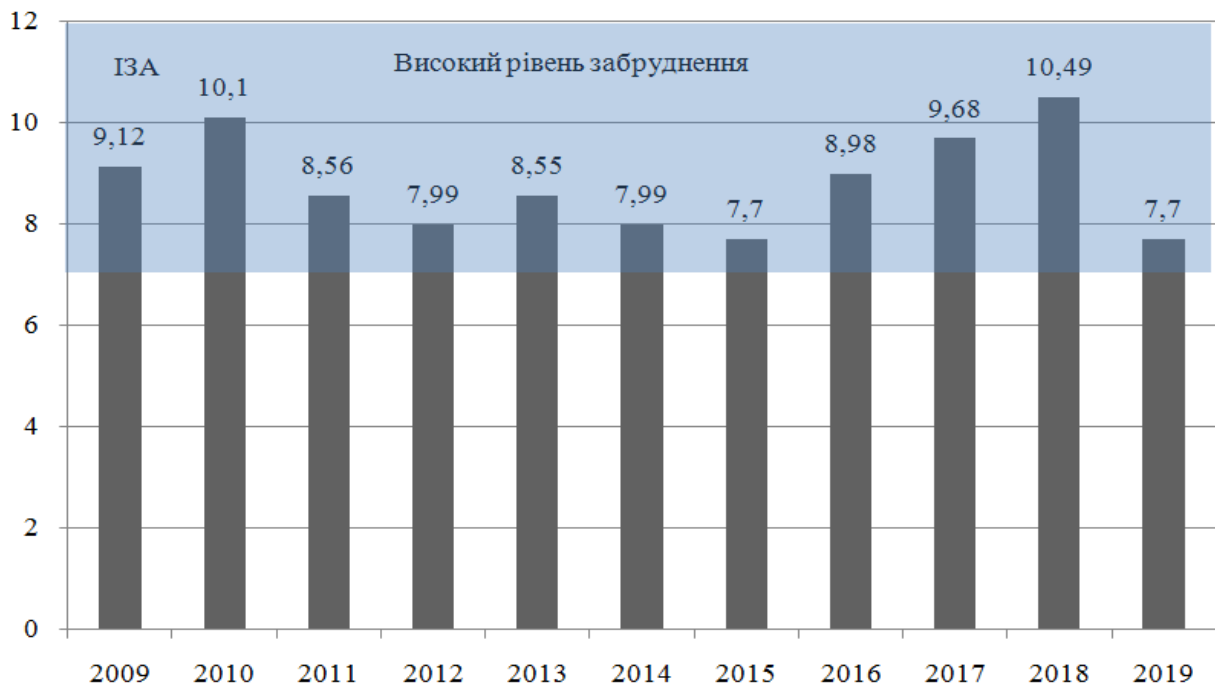


Рис. 5. Динаміка ІЗА м. Луцька (за інформацією Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського) [17]

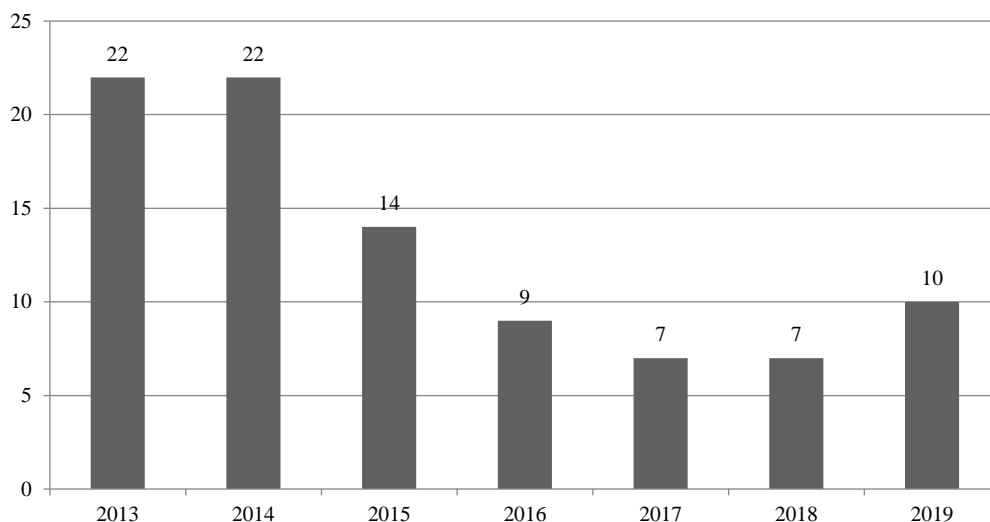


Рис. 6. Динаміка міста м. Луцька в консолідованому рейтингу міст України із найбільшим забрудненням атмосферного повітря (за даними Центральної геофізичної обсерваторії ім. Бориса Срезневського) [17]

наступні рівні вмісту забруднюючих речовин: пилу – 0,56 ГДК, діоксиду сірки – 0,04 ГДК, оксиду вуглецю – 0,12 ГДК, діоксиду азоту – 2,37 ГДК, оксиду азоту – 0,93 ГДК, фенолу – 1,83 ГДК, формальдегіду – 3,13 ГДК. Перевищення, традиційно, мало місце за вмістом діоксиду азоту, фенолу і формальдегіду (табл. 1). У порівнянні із попереднім роком збільшились середньорічні концентрації: оксиду азоту з 0,67 до 0,93 ГДК, фенолу з 1,8 до 1,83 ГДК, формальдегіду з 2,6 до 3,13 ГДК. Натомість, незначно зменшилась концентрація пилу з 0,58 до 0,56 ГДК, оксиду вуглецю з 0,15 до 0,12 ГДК, діоксиду азоту з 2,58 до 2,37 ГДК. Протягом року спостерігалось 232 випадки перевищення ГДК (234 у 2017 році). З них – 123 випадки по діоксиду азоту, 2 – по оксиду азоту, 78 – по фенолу, 29 – по формальдегіду.

У 2017 р., за усередненими даними спостережень на трьох стаціонарних постах спостерігались наступні рівні вмісту забруднюючих речовин: пилу – 0,58 ГДК, діоксиду сірки – 0,04 ГДК, оксиду вуглецю – 0,15 ГДК, діоксиду азоту – 2,58 ГДК, оксиду азоту – 0,67 ГДК, фенолу – 1,8 ГДК, формальдегіду – 2,6 ГДК. Зростання середньорічних концентрацій порівняно з 2016 р. спостерігалось: по оксиду вуглецю з 0,09 до 0,15 ГДК, діоксиду азоту з 2,54 до 2,58 ГДК, оксиду азоту з 0,62 до 0,67 ГДК, фенолу з 1,73 до 1,8 ГДК, формальдегіду з 2,03 до 2,6 ГДК, а зменшення: по пилу з 0,59 до 0,58 ГДК, діоксиду сірки з 0,05 до 0,04 ГДК. Встановлено 234 випадки перевищення ГДК (238 у 2016 р.). З них – 164 по діоксиду азоту, 52 – по фенолу, 18 – по формальдегіду.

У 2016 р. рівень забруднення атмосферного повітря м. Луцька характеризувався такими усередненими вмістами основних забруднюючих речовин: пилу – 0,46 ГДК, діоксиду сірки – 0,05 ГДК, оксиду вуглецю – 0,08 ГДК, діоксиду азоту

редненими вмістами основних забруднюючих речовин: пилу – 0,58 ГДК, діоксиду сірки – 0,05 ГДК, оксиду вуглецю – 0,09 ГДК, діоксиду азоту – 2,54 ГДК, оксиду азоту – 0,62 ГДК, фенолу – 1,73 ГДК, формальдегіду – 2,03 ГДК. Порівняно із 2016 р. зростали середньорічні концентрації: пилу з 0,54 до 0,59 ГДК, діоксиду сірки з 0,04 до 0,05 ГДК, оксиду вуглецю з 0,08 до 0,09 ГДК, діоксиду азоту з 2,38 до 2,54 ГДК, оксиду азоту з 0,55 до 0,62 ГДК, фенолу з 1,47 до 1,73 ГДК, формальдегіду з 1,97 до 2,03 ГДК. Зафіксовано 238 випадків перевищення ГДК (188 у 2015 р.). З них: 190 – по діоксиду азоту, 39 – по фенолу, 9 – по формальдегіду.

У 2015 р. рівень забруднення атмосферного повітря м. Луцька характеризувався такими усередненими вмістами основних забруднюючих речовин: пилу – 0,54 ГДК, діоксиду сірки – 0,04 ГДК, оксиду вуглецю – 0,08 ГДК, діоксиду азоту – 2,38 ГДК, оксиду азоту – 0,55 ГДК, фенолу – 1,47 ГДК, формальдегіду – 1,97 ГДК. Незначне зростання середньорічних концентрацій порівняно з 2014 р. спостерігалось по: пилу з 0,46 до 0,54 ГДК, діоксиду азоту з 2,27 до 2,38 ГДК, оксиду азоту з 0,42 до 0,55 ГДК, формальдегіду з 1,93 до 1,97 ГДК, а зменшення по: діоксиду сірки з 0,05 до 0,04 ГДК, фенолу з 1,5 до 1,47 ГДК. Протягом року спостерігалось 188 випадків перевищення ГДК (193 у 2014 р.). З них – 169 випадків перевищень ГДК по діоксиду азоту, 16 – по фенолу, 3 – по формальдегіду.

У 2014 р. рівень забруднення атмосферного повітря м. Луцька характеризувався такими усередненими вмістами основних забруднюючих речовин: пилу – 0,46 ГДК, діоксиду сірки – 0,05 ГДК, оксиду вуглецю – 0,08 ГДК, діоксиду азоту

– 2,27 ГДК, оксиду азоту – 0,42 ГДК, фенолу – 1,5 ГДК, формальдегіду – 1,93 ГДК. Незначне зростання середньорічних концентрацій в порівнянні з попереднім роком спостерігалось за вмістом: діоксиду сірки з 0,04 до 0,05 ГДК, діоксиду азоту з 2,04 до 2,27 ГДК, оксиду азоту з 0,37 до 0,42 ГДК, фенолу з 1,47 до 1,5 ГДК, а зменшення за вмістом: пилу з 0,52 до 0,46 ГДК, оксиду вуглецю з 0,11 до 0,08 ГДК, формальдегіду з 2,5 до 1,93 ГДК. Зафіксовано 193 випадки перевищення ГДК (140 у 2013 р.). З них – 160 випадків перевищень ГДК по діоксиду азоту, 31 – по фенолу, 2 – по формальдегіду.

У 2013 р. рівень забруднення атмосферного повітря м. Луцька характеризувався такими усередненими вмістами основних забруднюючих речовин: пилу – 0,52 ГДК, діоксиду сірки – 0,04 ГДК, оксиду вуглецю – 0,11 ГДК, діоксиду азоту – 2,04 ГДК, оксиду азоту – 0,37 ГДК, фенолу – 1,47 ГДК, формальдегіду – 2,50 ГДК. У порівнянні із минулим роком незначно зросли концентрації: діоксиду азоту з 2,01 до 2,04 ГДК, фенолу з 1,37 до 1,47 ГДК, формальдегіду з 2,2 до 2,5

ГДК, а зменшились: пилу з 0,56 до 0,52 ГДК, оксиду вуглецю з 0,13 ГДК до 0,11 ГДК, оксиду азоту з 0,43 до 0,37 ГДК. Зафіксовано 140 випадків перевищення ГДК (141 випадок у 2012 р.). З них – 89 випадків перевищень по діоксиду азоту, 18 – по формальдегіду, 33 – по фенолу.

У 2012 р. рівень забруднення атмосферного повітря м. Луцька характеризувався такими усередненими вмістами основних забруднюючих речовин: пилу – 0,56 ГДК, діоксиду сірки – 0,04 ГДК, оксиду вуглецю – 0,13 ГДК, діоксиду азоту – 2,01 ГДК, оксиду азоту – 0,43 ГДК, фенолу – 1,37 ГДК, формальдегіду – 2,2 ГДК. Зросли у порівнянні з 2011 р. концентрації фенолу з 1,2 до 1,37 ГДК, зменшились: пилу з 0,59 до 0,56 ГДК, оксиду вуглецю з 0,28 до 0,13 ГДК, діоксиду азоту з 2,26 до 2,01 ГДК, оксиду азоту з 0,61 до 0,43 ГДК, формальдегіду з 2,57 до 2,2 ГДК. Зафіксовано 141 випадок перевищення ГДК (за 2011 р. – 208 випадків). З них – 87 випадків перевищень по діоксиду азоту, 11 – по формальдегіду, 43 – по фенолу.

У 2011 р. рівень забруднення атмосферного

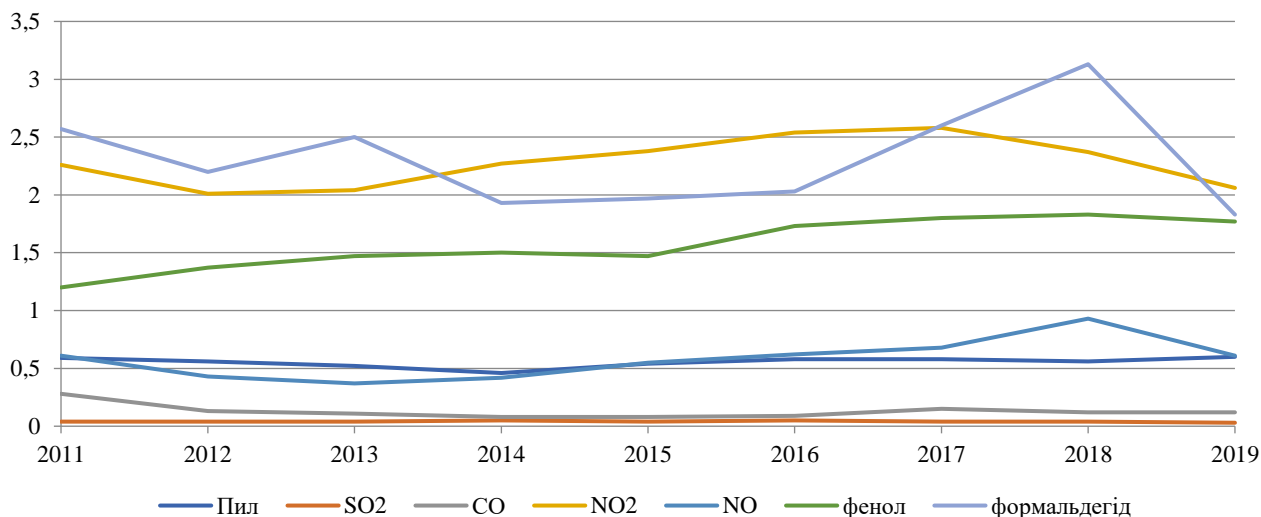


Рис. 7. Кратність перевищення ГДК (середньодобового) по забруднюючих речовинах в атмосферному повітрі м. Луцька (за матеріалами Волинського ЦГМ)

повітря м. Луцька характеризувався такими усередненими вмістами основних забруднюючих речовин: пилу – 0,59 ГДК, діоксиду сірки – 0,04 ГДК, оксиду вуглецю – 0,28 ГДК, діоксиду азоту – 2,26 ГДК, оксиду азоту – 0,61 ГДК, фенолу – 1,2 ГДК, формальдегіду – 2,57 ГДК. Зросли середньорічні концентрації: пилу з 0,46 до 0,59 ГДК, оксиду вуглецю з 0,18 до 0,28 ГДК, діоксиду азоту з 2,14 до 2,26 ГДК, а зменшились: діоксиду сірки з 0,06 до 0,04 ГДК, оксиду азоту з 0,66 до 0,61 ГДК, фенолу з 1,3 до 1,2 ГДК, формальдегіду з 3,53 до 2,57 ГДК. Зафіксовано 208 випадків перевищення ГДК (191 випадок у 2010 р.). З них – 162 по діоксиду азоту, 16 – по формальдегіду,

30 – по фенолу.

Аналіз рис. 7 дозволив зробити висновок, що за більшістю забруднюючих речовин в атмосферному повітрі міста за досліджуваний період за усередненими за рік значеннями ГДК середньодобове не досягається. Але вміст деяких речовин в повітрі міста майже постійно перевищений: фенол (кратність перевищення ГДК змінювалась від 1,2 у 2011 р. до 1,83 у 2018 р.), діоксид азоту (кратність перевищення ГДК змінювалась від 2,01 у 2012 р. до 2,58 у 2017р.) і формальдегід (кратність перевищення ГДК змінювалась від 1,83 у 2019 р. до 3,13 у 2018 р.).

Чи існує зв'язок між перевищеннями ГДК

концентраціями цих речовин? Як видно з кореляційної матриці (табл. 1), чіткого і тісного зв'язку не існує. Коефіцієнти кореляції невисокі. Це свідчить, що ймовірно ці речовини викидаються різними джерелами, причому їх досить багато.

Розглянемо детальніше закономірності зміни концентрації речовин, згаданих в табл. 1, адже саме вони, найбільшою мірою, визначають особливості забруднення атмосферного повітря міста.

Аналіз динаміки забруднення атмосферного

Таблиця 1

Кореляційна матриця для кратностей перевищення ГДК концентраціями деяких забруднюючих речовин в атмосферному повітрі м. Луцька

	NO ₂	фенол	формальдегід
NO ₂		0,447586	0,198885
фенол	0,447586		0,142495
формальдегід	0,198885	0,142495	

повітря забруднюючими речовинами, концентрації яких перевищують ГДК, в розрізі окремих постів (рис. 8-10) за 2014-19 р.р. дозволив встановити певні закономірності. Так, наприклад, у 2019 р. у м. Луцьку спостерігався високий рівень забруднення атмосферного повітря діоксидом азоту. На ПСЗ №4 найвищі середньомісячні концентрації спостерігались у травні (1,87 ГДК), на ПСЗ №5 – у липні-серпні (1,99 ГДК), на ПСЗ №7 – у травні (2,03 ГДК). Перевищень ГДК по діоксиду азоту на ПСЗ протягом року зафіксовано 81 (123 у 2018 р.). Річний хід концентрацій діоксиду азоту залежить від інтенсивності транспортних потоків, якості паливно-мастильних матеріалів та метеорологічних умов.

Забруднення повітря міста фенолом у 2019 р. дещо зменшилося. Пік забруднення на всіх ПСЗ припав на серпень. На ПСЗ №4 зафіксовано 19 випадків перевищень ГДК з максимальною концентрацією 1,6 ГДК у червні, ПСЗ №5 – 33 випадки з максимальною концентрацією 1,7 ГДК у серпні, ПСЗ №7 – 41 випадок, максимальна концентрація 2,14 ГДК у серпні.

Забруднення атмосферного повітря Луцька формальдегідом за 2019 р. також зменшилося. Пік забруднення на ПСЗ №5 припадає на червень (максимальна концентрація 0,82 ГДК), на ПСЗ №7 на травень (1,07 ГДК). На збільшення забруднення атмосферного повітря Луцька формальдегідом відчутно впливає велика кількість автотранспорту в місті.

У 2018 р. також зафіксовано високий рівень забруднення атмосферного повітря міста діоксидом азоту. На ПСЗ №4 найвищі середньомісячні концентрації спостерігались у листопаді (1,90 ГДК), ПСЗ №5 – у січні (2,15 ГДК), ПСЗ №7 – у травні (1,6 ГДК). Протягом року зафіксовано 123 випадки перевищення ГДК по діоксиду азоту (164 у 2017 р.).

Забруднення повітря міста фенолом у 2018 р. зросло, зафіксовано два піки забруднення на всіх ПСЗ: у січні та у липні. Перший з них

пов'язаний із переходом населення та установ на обігрів приміщень альтернативними видами палива з використанням твердопаливних котлів. На ПСЗ №4 зафіксовано 41 випадок перевищень ГДК з максимальною концентрацією 1,98 ГДК у липні, ПСЗ №5 – спостерігалось 26 випадків, максимум – 1,98 ГДК у липні, ПСЗ №7 – 11 випадків, максимум 1,68 ГДК у липні.

Забруднення атмосферного повітря Луцька формальдегідом також зросло. Пік забруднення на ПСЗ №5 припадає на липень (1,82 ГДК), ПСЗ №7 у липні (2,11 ГДК). Традиційно впливає велика кількість автотранспорту в місті.

У 2017 р. концентрація діоксиду азоту також зростала. На ПСЗ №4 найвищі середньомісячні концентрації спостерігались у липні (1,95 ГДК), ПСЗ №5 – у вересні (2,15 ГДК), ПСЗ №7 – у вересні (2,2 ГДК). Випадків перевищення ГДК по діоксиду азоту протягом року зафіксовано 164 (190 у 2016 р.), найбільше у вересні (55).

Забруднення повітря міста фенолом у 2017 р. зросло. Гострих піків на всіх ПСЗ протягом року не спостерігалось, але в осінньо-зимові місяці концентрації зростають у зв'язку з переходом на альтернативні види палива. На ПСЗ зафіксовано 24 випадки перевищень (максимальна концентрація – 1,58 ГДК у вересні), ПСЗ №5 – 18 випадків (1,48 ГДК у жовтні), ПСЗ №7 – 10 випадків (1,48 ГДК у вересні).

Забруднення атмосферного повітря Луцька формальдегідом також зросло. Пік забруднення на ПСЗ №5 припадає на червень (2,79 ГДК), ПСЗ №7 – на серпень (2,37 ГДК).

Забруднення м. Луцька діоксидом азоту у 2016 р. також було традиційно високим. На ПСЗ №4 найвищі середньомісячні концентрації спостерігались у червні (1,65 ГДК), ПСЗ №5 – у травні (1,65 ГДК), ПСЗ №7 – у червні (1,6 ГДК). Випадків перевищення ГДК протягом року – 190 (169 у 2015 р.).

Забруднення повітря міста фенолом у 2016 р. продовжувало зростати. На ПСЗ №4 зафіксовано

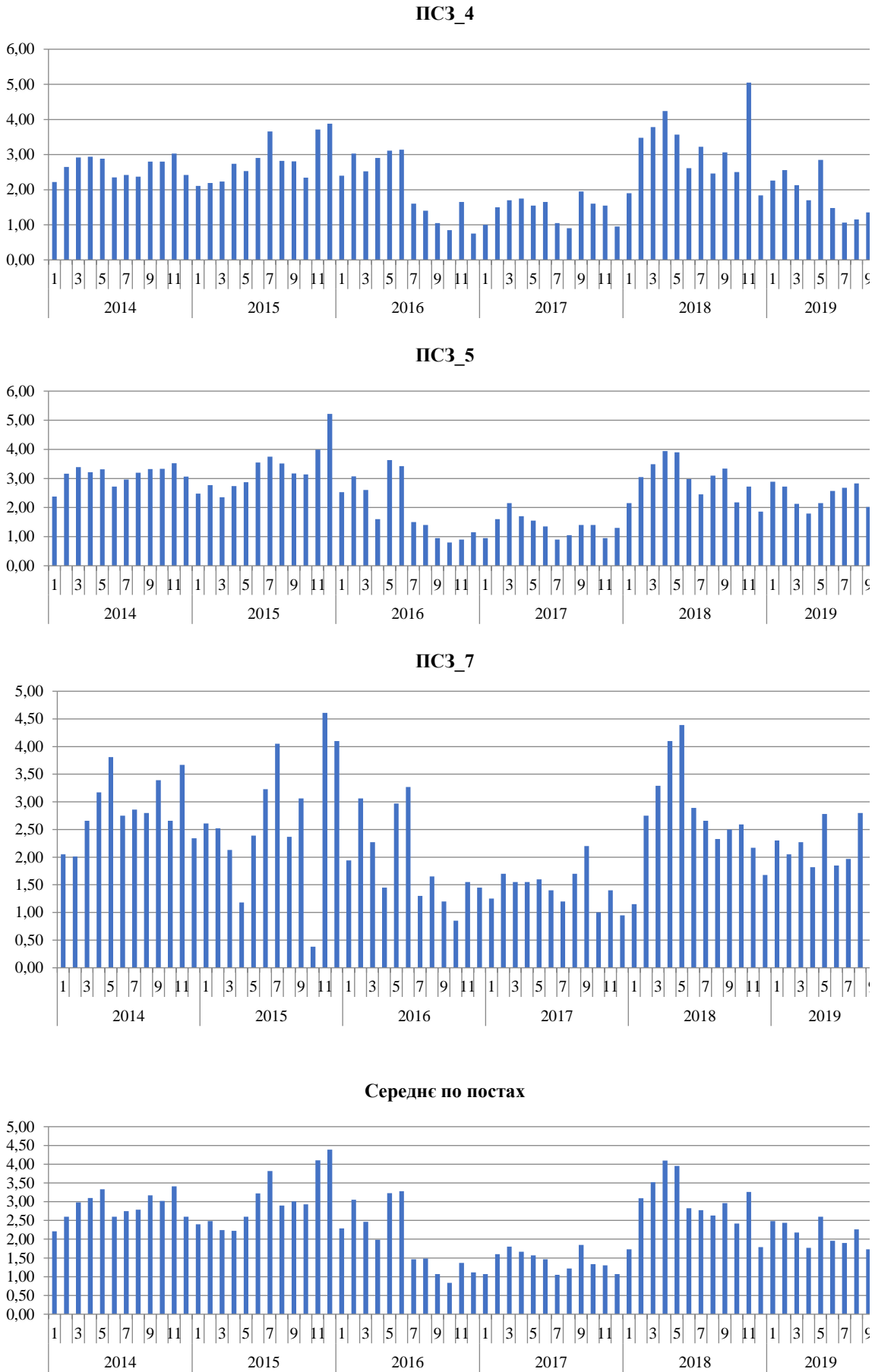


Рис. 8. Динаміка зміни ІЗА м. Луцька діоксидом азоту (за матеріалами Волинського ЦГМ)

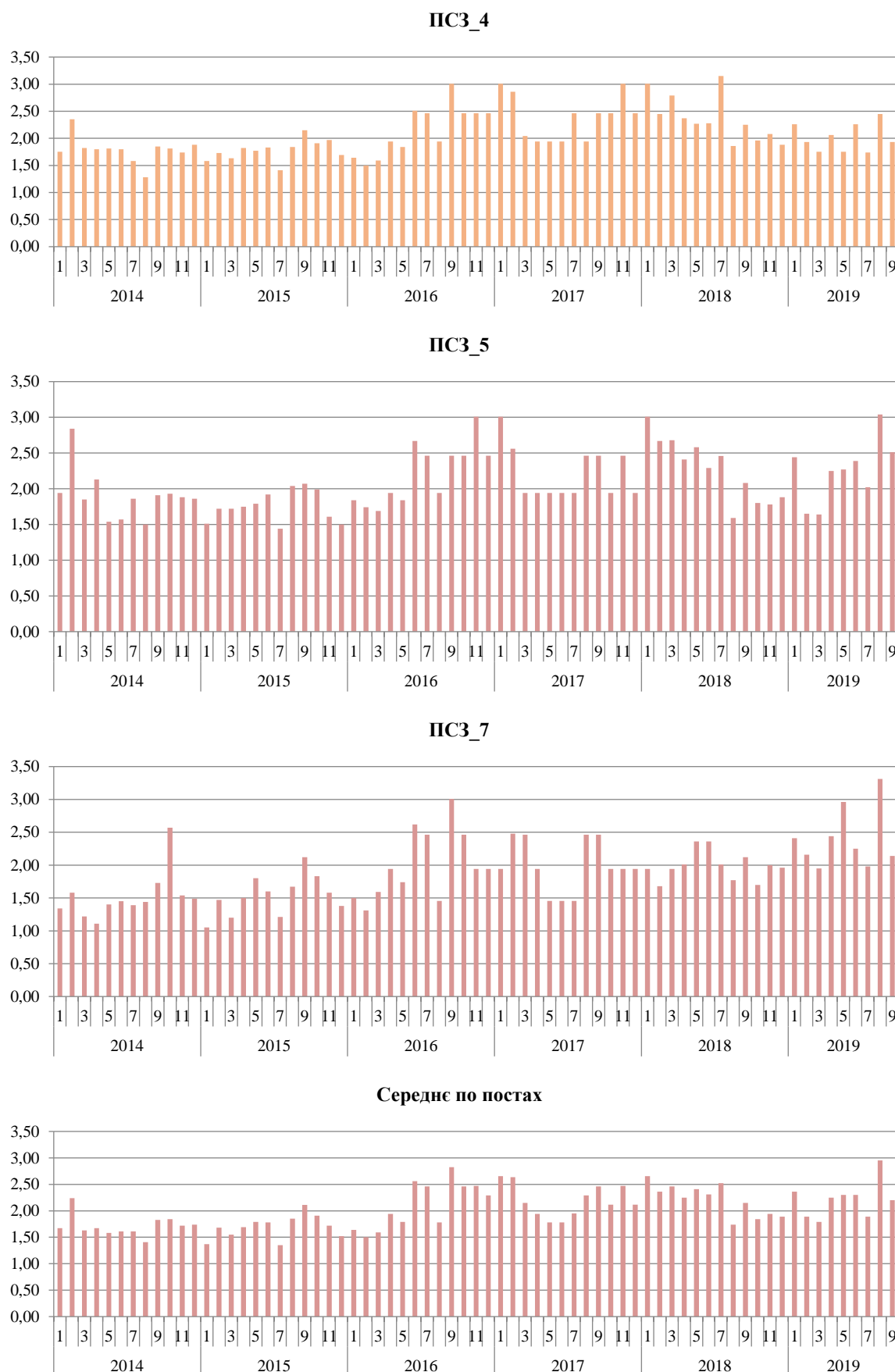


Рис. 9. Динаміка зміни ІЗА м. Луцька фенолом (за матеріалами Волинського ЦГМ)

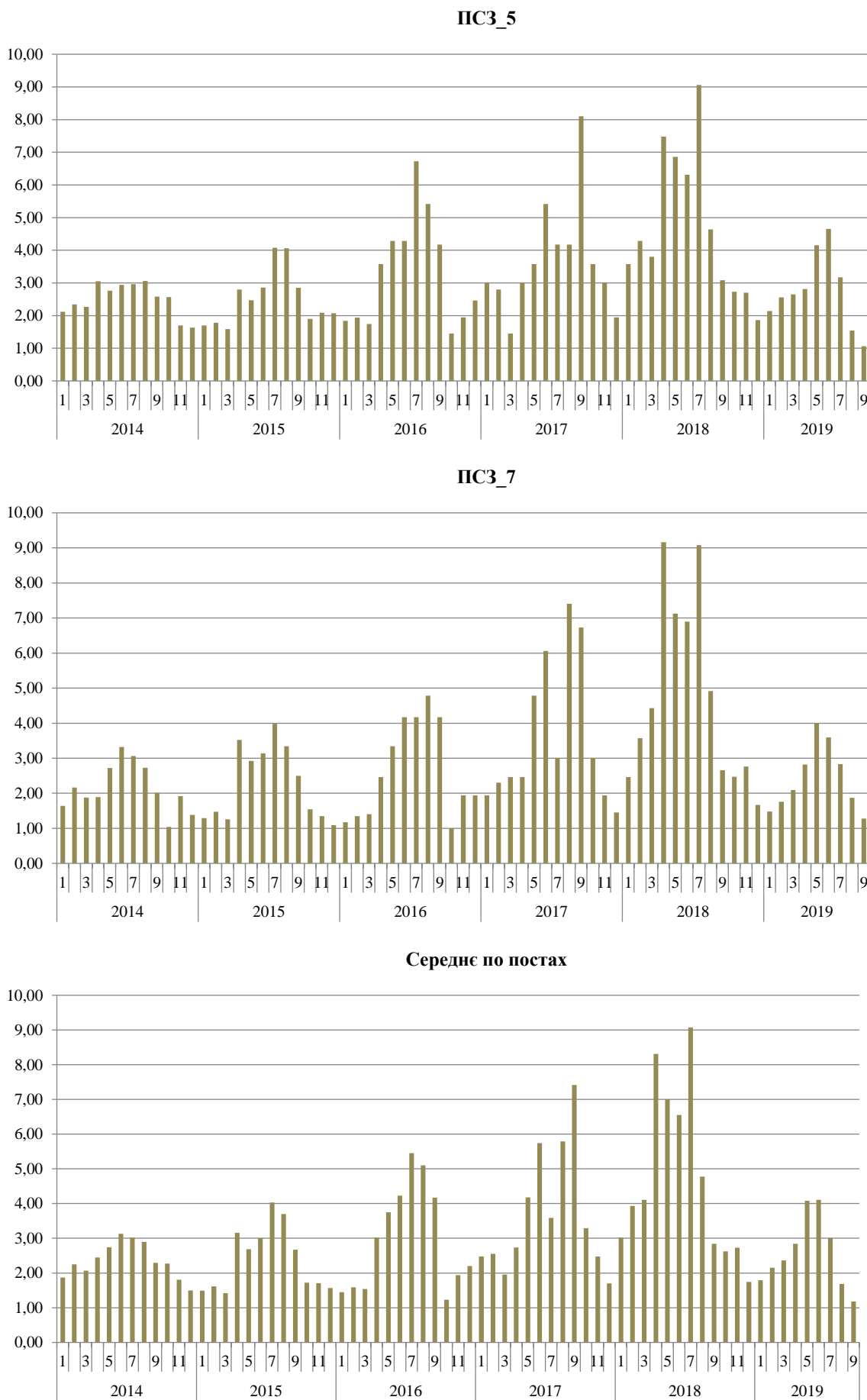


Рис. 10. Динаміка зміни ІЗА м. Луцька формалдегідом (за матеріалами Волинського ЦГМ)

14 випадків перевищень ГДК, максимум 1,4 ГДК у грудні, ПСЗ №5 – 16 випадків (1,3 ГДК у вересні), ПСЗ №7 – 9 випадків (2,4 ГДК у червні).

Забруднення атмосферного повітря Луцька формальдегідом за 2016 р. також зросло. Пік забруднення припадає на липень-серпень – ПСЗ № 5 (2,08 ГДК), ПСЗ № 7 (1,34 ГДК).

Рівень забруднення атмосферного повітря у м. Луцьку діоксидом азоту у 2015 р. – високий. На ПСЗ №4 та №5 найвищі середньомісячні концентрації зафіксовані у грудні (1,55 ГДК та 1,6 ГДК), ПСЗ №7 – у листопаді (1,95 ГДК). Зафіксовано 169 випадків перевищення ГДК протягом року (160 у 2014 р.)

Забруднення повітря міста фенолом у 2015 р. дещо зменшилось. На ПСЗ №4 спостерігалось 8 випадків перевищень ГДК (максимальна концентрація – 1,5 ГДК у травні), ПСЗ №5 – 3 випадки перевищення ГДК (1,3 ГДК у червні), ПСЗ №7 – 5 випадків перевищення (1,6 ГДК у травні).

Забруднення атмосферного повітря Луцька формальдегідом протягом 2015 р. зросло. Пік забруднення припадає на липень-серпень з максимальною концентрацією 1,2 ГДК на ПСЗ №5 та 0,8 ГДК на ПСЗ №7.

Забруднення м. Луцька діоксидом азоту у 2014 р. також перевищувало допустимі нормативи. На ПСЗ №4 та №5 найвищі середньомісячні концентрації спостерігались у листопаді (1,45 ГДК та 1,5 ГДК), ПСЗ №7 – у травні (1,5 ГДК). Випадків перевищення ГДК протягом року зафіксовано 160 (89 у 2013 р.).

Рівень забруднення повітря міста фенолом у 2014 р. підвищився. Причому на ПСЗ №5 він був найвищим – 13 випадків (максимальна концентрація – 1,8 ГДК у лютому), ПСЗ №4 – 13 випадків (1,6 ГДК у лютому), ПСЗ №7 – 5 випадків (1,3 ГДК у травні).

Ситуація із забрудненням повітря міста формальдегідом у 2014 р. значно покращилась, що і зменшило значення ІЗА по Луцьку (ІЗА – 7,99, 22 місце по Україні). Пік забруднення припадає на літній період – ПСЗ № 5 (1,1 ГДК у липні), ПСЗ №7 (1,02 ГДК у червні). Зафіксовано лише по одному випадку перевищення ГДК на кожному із ПСЗ, у 2013 році – 18 випадків.

Отже, забруднення атмосферного повітря в місті, найбільшою мірою визначається концентраціями діоксиду азоту, фенолу та формальдегіду.

Основними джерелами надходження оксидів азоту, зокрема, NO₂ в атмосферу є викиди продуктів високотемпературного і неповного згорання палива (вихлопні гази автотранспорту, викиди промислових підприємств і теплових електростанцій). Також діоксид азоту надходить в атмосферу внаслідок мікробіологічних процесів, що відбуваються у ґрунті, фотохімічного окислення

аміаку і закису азоту в атмосфері. Вміст діоксиду азоту залежить від багатьох чинників: урбанізації, кількості транспорту, сезонності, температури повітря. Небезпека зростання вмісту цієї забруднюючої речовини збільшується внаслідок глобальних змін клімату. Викиди оксидів азоту в атмосферу також призводять до виникнення кислотних дощів [12].

Фенол викидається у атмосферне повітря міст внаслідок функціонування підприємств, в технологічних процесах яких відбувається термічна переробка органічної сировини (деревообробна, целюлозно-паперова, хімічна, нафтохімічна промисловість, виготовлення штучних смол, пластмаси тощо). Тенденція до збільшення забруднення атмосферного повітря м. Луцька фенолом також може бути частково пояснена переорієнтацією на альтернативні види палива для опалення житлових та комунальних будівель міста, диверсифікацією споживання палива з метою зменшення енергетичної залежності від імпортного газу. При спалюванні твердого палива викиди фенолу зростають на порядок [3, 4].

Формальдегід в атмосфері синтезуються внаслідок фотохімічних процесів під впливом ультрафіолетового випромінювання. Джерелами антропогенного надходження формальдегіду у довкілля є також: металургійні та хімічні підприємства, виготовлення меблів, полімерів та будівельних матеріалів. Останнім часом у великих містах основним джерелом забруднення атмосферного повітря є автотранспорт, вихлопні гази якого містять високі концентрації формальдегіду, що утворюється за неповного згорання палива. Останні дослідження доказують, що формальдегід надходить в атмосферу не тільки від промислових і природних (лісові та торфові пожежі) джерел, але й утворюється як вторинний продукт у результаті комплексу фотохімічних реакцій у взаємодії з метаном, оксидами азоту та іншими вуглеводневими сумішами, які є в забрудненій атмосфері [3]. Суттєво впливає на зростання вмісту формальдегіду в атмосферному повітрі міста в зміна метеорологічних умов. Концентрації формальдегіду в атмосферному повітрі характерна чітка сезонність, збільшення концентрації в літній період, що залежить від температури повітря й інтенсивності прямої сонячної радіації [6].

Отже, склад та концентрації забруднюючих речовин, які перевищують ГДК, ще раз доводить висловлену тезу про те, що основним джерелом забруднення атмосферного повітря в місті є саме автотранспорт. У складі відпрацьованих газів автомобілів найбільша частка за об'ємом припадає на оксид вуглецю (0,5-10%), оксиди азоту (до 0,8%), неспалені вуглеводні (0,2-3,0%), альдегіди (до 0,2%) та сажу. В абсолютних величинах на 1 т

пального двигун внутрішнього згорання викидає з вихлопними та картерними газами: 200 кг СО, 25 кг вуглеводнів, 20 кг оксидів азоту, 1 кг сажі, 1 кг сірчистих сполук [5].

Можна зробити наступний проміжний підсумок: ми звикли до того, що м. Луцьк належить до міст із відсутніми крупними підприємствами, екологічно шкідливими виробництвами, значною площею озеленення і, як наслідок, сприятливою екологічною ситуацією. На жаль, на сьогодні це не так. Сучасні реалії змушують вести мову про серйозні екологічні проблеми, які стоять перед містом і вимагають негайного розв'язання. І найгострішою з них є проблема забруднення атмосферного повітря. Підтвердженням тому є знаходження міста в першій десятці міст України за забрудненням атмосферного повітря протягом кількох минулих років.

Що робиться на сьогодні в місті для поліпшення ситуації? Протягом кількох останніх років серед екологічних проблем міста жителів найбільш турбувала проблема смороду в південно-західній та південній частинах міста. Джерелом неприємного запаху були поля фільтрації Гнідавського цукрового заводу, на які скидалися відходи виробництва спирту. Речовини, що потрапляли в атмосферне повітря з полів, зумовлювали подразнення слизових оболонок дихальних органів, очей та шкіри, погіршували стан здоров'я мешканців Луцька. Лише протягом травня-липня 2019 р. до міської ради надійшло 1272 скарги на неприємний запах. Наприклад, внаслідок перевірки, проведеної 09.07.19 р. у 5 місцях відбору (дачна забудова масиву «Світанок, вулиці Львівська, Ковельська, Станіславського, бульвар Дружби Народів) виявлено перевищення концентрації аміаку (від 2,3-22,6 ГДК), сірководню (2-10 ГДК), оцтової кислоти (2,6 ГДК) [9]. Відділом екології Луцької міської ради було проведено ряд заходів по вирішенню проблеми. Зокрема, припинено скид відходів спиртового виробництва на поля фільтрації, розроблено план заходів для зменшення забруднення атмосферного повітря в зоні дії підприємства. В результаті влітку 2020 р. неприємний запах в південній та південно-західній частині міста відсутній. Це приклад вирішення екологічної проблеми міською владою спільно з громадськістю міста.

В місті діє «Комплексна програма охорони навколишнього природного середовища міста Луцька на 2018-2020 роки» [13]. В розділі «Охорона атмосферного повітря» вона передбачає реалізацію низки заходів. А саме: проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря (ПрАТ «Луцький пивзавод», ПАТ «Луцьк Фудз, Луцьке МПД ДП «Укрспирт», ПАТ «Волиньгаз», ПрАТ «СКФ Україна»), здійс-

нення лабораторного контролю викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами (ПрАТ «СКФ Україна», ДП «АСЗ № 1» ПАТ «АК «Богдан Моторс»), придбання та встановлення пилогазоочисного устаткування (ДП ЛРЗ «Мотор», ПАТ «Теремно Хліб») тощо [13]. Все це потрібні заходи. Але стосуються вони переважно підприємств, які мають стаціонарні джерела викидів. А в структурі забруднення атмосферного повітря міста останнім часом близько 95% припадає на пересувні джерела, зокрема, автотранспорт.

Ще одною позитивною практикою міської влади останнім часом є спроба налагодити оперативний моніторинг з використанням дистанційних методів та інтерактивних карт. Зокрема, створена платформа для автоматичного збору даних та здійснення моніторингу за якісним станом атмосферного повітря (рис. 11) [24]. За допомогою аналітичного модулю можливо проаналізувати статистичні дані за попередній період, побудувати діаграми, співставити якісний стан атмосферного повітря за 5 параметрами (аміак, діоксид азоту, оксид вуглецю, частки пилу розміром 2,5 і 10 мкм), стан метеорологічних компонентів тощо.

Висновки. Отже, підсумовуючи вище викладене можна зробити висновки, що забруднення атмосферного повітря перетворюється для м. Луцька на найважливішу екологічну проблему, яка вже на сьогодні суттєво погіршує умови проживання та стан здоров'я населення міста. В розрізі забруднювачів в останні роки найбільша частка (понад 95%) припадає на пересувні джерела, перш за все автотранспорт. В розрізі забруднюючих речовин постійне перевищення ГДК в атмосферному повітрі фіксується для діоксиду азоту, фенолу та формальдегіду. Але вміст ще деяких забруднюючих речовин в атмосферному повітрі впритул наближається до ГДК. Так, наприклад, концентрація оксиду азоту на ПСЗ №5 в 2019 р. становила в лютому – 0,96 ГДК, в березні – 0,87 ГДК, в травні – 0,95 ГДК, в 2018 р. в лютому – 0,91 ГДК, в березні – 0,91 ГДК, в квітні – 0,94 ГДК, в травні – 1,02 ГДК, в червні – 0,96 ГДК, в липні – 1,15 ГДК, в листопаді – 1,62 ГДК. Тому прогнозуємо, що якщо не будуть вжиті негайні та ефективні заходи для зменшення забруднення, концентрація цих речовин також може перевищувати ГДК і суттєво впливати на величину ІЗА вже в недалекому майбутньому.

Заходи, які на сьогодні вживаються владою у місті для зменшення забруднення атмосферного повітря є правильними, але недостатніми. Вони спрямовані, передусім, на стаціонарні джерела викидів. Такі викиди також потрібно контролювати і зменшувати, але вони становлять лише

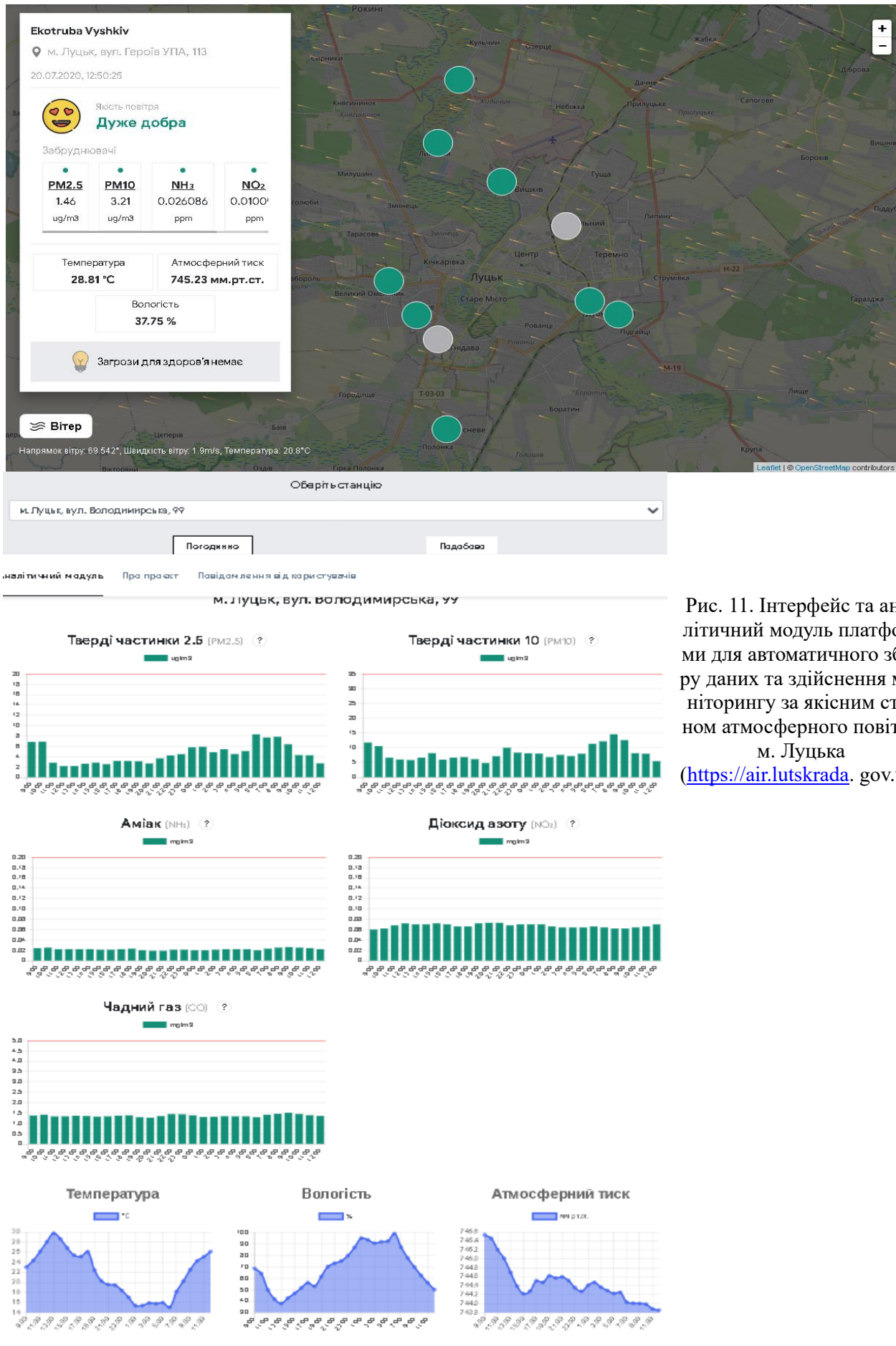


Рис. 11. Інтерфейс та аналітичний модуль платформи для автоматичного збору даних та здійснення моніторингу за якісним станом атмосферного повітря м. Луцька (<https://air.lutskrada.gov.ua>)

3-5% сумарних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря м. Луцька. Ще один важливий чинник збільшення забруднення повітряного басейну міста – викиди котелень та окремих котлів, які переорієнтувались на тверде паливо з метою диверсифікації використання палива і зменшення газової залежності. Вплив цього чинника вже відчутно проявляється за результатами моніторингу. З іншого боку, немає іншого шляху в енергозабезпеченні нашої держави окрім зменшення використання газу і залежності від країн-експортерів газу.

Насамкінець пріоритетним напрямком заходів охорони атмосферного повітря в м. Луцьку є зменшення викидів пересувних джерел, зокрема автотранспорту. Для цього слід:

- оптимізувати транспортну мережу міста, розробити нову ефективну схему руху транспорту, структуру і обсяги транспортних потоків у місті;
- здійснювати планування та забудову міста з дотриманням нормативно визначеної відстані до транспортних шляхів, унеможливити хаотичну, безсистемну забудову центральної частини міста, нове житлове будівництво дозволити лише у новостворених кварталах, розбудувати мережу автопарковок в місті, жорстко контролювати дотримання заборони паркування в окремих частинах міста;
- добудувати мережу об'їзних доріг з метою зменшення ймовірності потрапляння транспортних транспортних потоків у центр міста;
- впровадити в місті автоматизовану систему регулювання дорожнього руху, удосконалити управління сигналами світлофорів, створювати так звані «зелені хвилі»;
- максимально перейти на електричний громадський транспорт, збільшити кількість тролейбусів, відмовитись від маршруток на користь тролейбусів, добудувати контактну мережу у районах, де вона нині відсутня;
- проводити популяризацію громадського транспорту з метою відмови мешканців міста від поїздок особистим транспортом;
- створити «перехоплюючі» парковки (так звані «Park+Ride») на в'їздах в місто біля зупинок громадського транспорту;
- розвивати велосипедний рух в місті, створювати велосипедну інфраструктуру;
- збільшувати кількість зелених насаджень у місті, особливо вздовж вулиць та автодоріг з інтенсивним рухом.

Імплементация кожного із цих заходів не є панацеєю, але дозволить на якусь частку зменшити забруднення атмосферного повітря міста і поліпшити умови проживання містян. Впровадження всього комплексу заходів дозволить досягнути кумулятивного ефекту і зменшити забруднення вже на суттєву величину, сприятиме підвищенню привабливості міста для лучан та туристів.

Література

1. Антонов К. Л. Воздействие выбросов автотранспорта на здоровье детей Екатеринбурга / К. Л. Антонов, Е. Д. Константинова, А. Н. Вараксин // Гигиена и санитария. – 2007. – № 5. – С. 28-32.
2. Архипова Е. И. Характеристика заболеваемости населения Великого Новгорода с учётом уровня загрязнения атмосферного воздуха / Е. И. Архипова, Т. И. Оконенко // Экология человека. – 2007. – № 5. – С. 11-14.
3. Баитаннік М. П. Стан забруднення атмосферного повітря над територією України / М. П. Баитаннік, Н.С. Жемера, Є. М. Кіпченко, Т. В. Козленко // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2014. – Вип. 266. – С. 70-93.
4. Бекетов В. Є. Аналіз та оцінка рівня забруднення атмосферного повітря м. Харків / В. Є. Бекетов, Г. П. Свтухова, О. С. Ломакіна // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2016. – № 3-4 (26). – С. 97-103.
5. Васькін Р. А. Аналіз динаміки забруднення атмосферного повітря України викидами автотранспорту / Р. А. Васькін, І. В. Васькіна // Вісник КДПУ ім. М. Остроградського. – Вип. 5. – 2009. – № 58. – С. 109-112.
6. Гомонай В. І. Формальдегід – головний компонент забруднення атмосфери автомобільним транспортом в містах України / В. І. Гомонай, В. Ю. Лобко, В. С. Ходаковський // Екологічний вісник. – 2007. – № 1 (41). – С. 10-12.
7. Донець М. П. Гігієнічна оцінка забруднення повітряного басейну у Чернігівській області / М. П. Донець, А. Г. Валовенко, Л. М. Петрусенко [та ін.] // Довкілля та здоров'я. – 2010. – № 4 (55). – С. 63-67.
8. ДСП-201-97. Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених міст від забруднення хімічними та біологічними речовинами. Введено Наказом МОЗ України № 201 від 9.07.97. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kislroda.net.ua/articles/view/65.html>
9. Екологічний паспорт м. Луцьк. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-mlucka/>
10. Киреева И. С. Гигиеническая оценка риска загрязнения атмосферного воздуха промышленных городов Украины для здоровья населения / И. С. Киреева, И. А. Черниченко, О. Н. Литвиченко // Гигиена и санитария. – 2007. – № 1. – С. 17-21.
11. Клейн С. В. Формирование программ наблюдения за качеством атмосферного воздуха для задач социально-гигиенического мониторинга: практический опыт реализации мероприятий федерального проекта «Чистый воздух» / С. В. Клейн, Н. В. Зайцева, И. В. Май, С. Ю. Балашов, С. Ю. Загороднов, Д. В. Горяев, И. В. Тихонова, А. М. Андришунас // Гигиена и санитария. – 2020. – №99 (11). – С. 1196-1202.

12. Колесник В. С. Екологічна класифікація якості атмосферного повітря за комплексними індексами його забруднення / В. С. Колесник, А. В. Павличенко, К. Р. Калініна // *Геотехнічна механіка*. – 2017. – №137. – С. 156-169.
13. Комплексна програма охорони навколишнього природного середовища міста Луцька на 2018-2020 роки. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lutskrada.gov.ua/documents/pro-zatverdzhennya-kompleksnovi-programy-ohorony-navkolyshnogo-pryrodnogo-seredovyssha>
14. Малєєв В. О. Атмосферне повітря м. Херсона: стан і проблеми / В.О. Малєєв, В.М. Безпальченко, О.О. Семенченко // *Екологічні науки*. – 2018. – № 3 (22). – С. 47-52.
15. Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря». Затверджено Наказом МОЗ України № 184 від 13.04.2007. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=6902>
16. Мольчак Я. О. Луцьк: сучасний екологічний стан та проблеми / Я. О. Мольчак, В. О. Фесюк, О. Ф. Картава. – Луцьк: РВ ЛДТУ, 2003. – 488 с.
17. Огляд про стан забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій (2014-19 р.р). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1
18. Стан атмосферного повітря і неінфекційна захворюваність. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://cgz.vn.ua/problematika-gromadskogo-zdorovya/problematika-gromadskogo-zdorovya_455.html
19. Стахів І. Р. Вплив забруднення повітряного середовища на стан здоров'я населення за 2001-2010 рр. // *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*. Зб. наук. пр. – 2013. – С. 126-132.
20. Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області: колективна монографія. / за ред. В. О. Фесюка. – К.: ТОВ «Підприємство Ві Ен Ей», 2016. – 316 с.
21. Тафеева Е. А. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха как фактор риска здоровью населения Казани / Е. А. Тафеева, А. В. Иванов, А. А. Титова, И. Ф. Ахметзянова // *Гигиена и санитария*. – 2015. – № 94 (3). – С. 37-40.
22. Фесюк В. О. Конструктивно-географічні засади формування екологічного стану великих міст Північно-Західної України / В. О. Фесюк. – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2008. – 344 с.
23. Фесюк В. О. Луцьк: сталий розвиток і соціально-екологічні проблеми / В. О. Фесюк. – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2013. – 304 с.
24. Чисте повітря. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://air.lutskrada.gov.ua>
25. Чугай А. В. Оцінка забрудненості повітряного басейну міста Миколаїв / А. В. Чугай // *Український гідрометеорологічний журнал*. – 2013. – № 13. – С. 10–17.
26. Чугай А. В. Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря міст прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я / А. В. Чугай, А. В. Колісник, О. В. Демяненко, С. Е. Романенко // *Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Сер. «Екологія»*. – 2015. – Вип. 13. – С. 91-97.
27. Чугай А. В. Забруднення атмосферного повітря міст прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я специфічними забруднюючими речовинами / А. В. Чугай, Х. С. Патраман // *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. – 2017. – № 1 – 2 (27). – С. 113-122.
28. Чугай А. В. Стан та якість повітряного басейну Одеської промислово-міської агломерації / А.В. Чугай // *Екологічна безпека*. – 2019. – Вип. 2 (28). – С. 81–85.
29. Яценко О. Класифікація міст України за рівнем забруднення атмосферного повітря. / О. Яценко, О. Шевченко, С. Сніжко // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Географія*. – 2017. – Вип. 3(68). – С. 25-30. <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2017.68.4>
30. ChunLee C. Evaluation of air quality in Sunway City, Selangor, Malaysia from a mobile monitoring campaign using air pollution micro-sensors. / C. ChunLee, M.Cheng, W. Choo, C. Pin, T. Yeong, S. Chiew // *Environmental Pollution*. – Vol. 265. – P. 263-271. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115058>
31. Cooper C. D. Air Pollution Control: A Design Approach / C. D. Cooper, F. C. Alley // Long Grove (IL): Waveland press. – 2011. – 839 p.
32. Di Menno A. Combined effects of air pollution and allergens in the city of Rome / A. Di Menno, M. Bucchianico M., A. Brighettib, G. Cattania, C. Costac // *Urban Forestry & Urban Greening*. – 2019. – Vol. 37 P. 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.001>
33. Font A. A tale of two cities: is air pollution improving in Paris and London? / A. Font, L. Guiseppein, M. Blangiardo, V. Ghersi, G. Fuller // *Environmental Pollution*. – 2019. – Vol. 249. – P. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.040>
34. Gallagher J. The passive control of air pollution exposure in Dublin, Ireland: A combined measurement and modeling case study / J. Gallagher, L. Gill, A. McNabola // *Science of the Total Environment*. 2013. – Vol. 458-460. – P. 331-343.
35. Guttikunda S. Air pollution knowledge assessments (APnA) for 20 Indian cities / S. Guttikunda, K. Nishadh, A. Pujawahar // *Urban Climate Volume*. – 2019. Vol. 3. – P. 124-141. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.11.005>
36. Hu K. The association between city-level air pollution and frailty among the elderly population in China / K. Hu, K. Keenan, J. Hale, T. Börger // *Health & Place*. – 2020. – Vol. 64. – P. 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2020.102362>

37. Khan J. *The spatial relationship between traffic-related air pollution and noise in two Danish cities: Implications for health-related studies* / J. Khan, K. Kakosimos, S. Jensen, O. Hertel, M. Sorensen, J. Gulliver, M. Ketzel // *Science of The Total Environment*. – 2020. – Vol. 726. – P. 102-114. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138577>
38. Kelly F. *Monitoring air pollution: use of early warning systems for public health* / F. J. Kelly, G. W. Fuller, H. A. Walton, J. C. Fussell // *Respirology*. – 2012. – Vol. 17, № 1. – P. 7–19.
39. Lee D. *Estimating the health impact of air pollution in Scotland, and the resulting benefits of reducing concentrations in city centres* / D. Lee, C. Robertson, C. Ramsay, C. Gillespie, G. Napier // *Spatial and Spatiotemporal Epidemiology*. – 2019. – Vol. 29. – P. 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2019.02.003>
40. Shupranova, L. V. *Air pollution assessment in the Dnepropetrovsk industrial megapolice of Ukraine* / L. V. Shupranova, V. M. Khlopova, M. M. Kharytonov // *Air Pollution Modeling and its Application XXII. NATO Science for Peace and Security Series – C: Environmental Security*. Springer. – 2014. – Pp. 101–104.
41. Son Y. *Land use regression models to assess air pollution exposure in Mexico City using finer spatial and temporal input parameters* / Y. Son, A. Osornio-Vargas, M. O'Neill, P. Hystad, J. Texcalac-Sangrador // *Science of The Total Environment*. – 2018. – Vol. 639. – P. 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.144>
42. Zhang K. *Air pollution and health risks due to vehicle traffic* / K. Zhang, S. Batterman // *Science of The Total Environment*. – 2013. – Vol. 450-451. – P. 307-316. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.074>

Надійшла до редакції 19 липня 2020 р.

Прийнята 30 березня 2021 р.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

UDC 504.3.054

Vasyl Fesyuk,

DSc (Geography), Professor, Head of Department of Physical Geography,
Lesya Ukrainka Eastern European National University, 13 Voli Avenue, 43000, Lutsk, Ukraine,
e-mail: fesyuk@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3954-9917>;

Iryna Moroz,

PhD (Chemistry), Associate Professor,
Department of Material Science, Lutsk National Technical University,
75 Lvivska St., Lutsk, 43018, Ukraine,
e-mail: moroz.irynd@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9167-4876>

CURRENT STATE OF AIR POLLUTION OF LUTSK TOWN

Introduction. Air pollution is an important factor influencing the quality of life and health of peoples. It is increasing due to urbanization, development of industrial and transport complexes of cities. The same tendencies are characteristic for the state of air pollution in Lutsk. In recent years, the level of its pollution is estimated as high. And in the first half of 2018, Lutsk was among the top three cities with the highest level of air pollution in Ukraine. Although the town is not a major industrial center.

The purpose of article. The purpose of the study is assessment and analyze the current level of air pollution in Lutsk for many years (2011-2019).

Methods. Research methods – expeditionary (for research the ecological condition of the urban area), methods of mathematical statistics (for statistical processing of monitoring results), expert assessment (to establish the causes of pollution and environmental risks).

The materials of own researches of an ecological condition of the Lutsk territory, and also results of laboratory researches of atmospheric air pollution on stationary posts in the town are used. They were conducted by the Integrated Laboratory for Environmental Pollution Observations of the Volyn Regional Center for Hydrometeorology.

Results. The structure of pollutant emissions in the town is analyzed. It is established that the share of emissions from mobile sources (vehicles) increased from 61.4% in 1990 to 92.2% in 2015 and 94.6% in 2020. For the period from 2009 to the present the air pollution index (API) for the Lutsk town varies between 7.7 and 10.49 (high level of pollution). The size of the API slightly decreased until 2015, and then increased until 2018. The place of Lutsk in the ranking of the most polluted cities in Ukraine correlates with the value of the API. In 2013-14 API was relatively low – 7.99-8.55. Lutsk occupied 22 steps. Since 2016, API for the Lutsk has started to increase. The city rating rose from 9 to 7 steps. Concentrations of nitrogen dioxide, phenol and formaldehyde in the air of the town constantly exceed the maximum concentration limits.

The scientific novelty is to analyze the dynamics of the content in the town air of substances whose concentrations exceed the maximum allowable, to study the causes of pollution, to develop a set of measures to reduce air pollution in Lutsk.

Practical significance is determined by the possibility of using the obtained results to develop a set of measures to reduce air pollution in Lutsk.

Keywords: atmospheric air, pollutant, air pollution index, pollution level, stationary emission sources, mobile emission sources, air pollution monitoring, measures to reduce air pollution.

References

1. Antonov, K. L., Konstantynova, E. D., Varaksyn, A. N. (2007). *The impact of vehicle emissions on the health of children in Yekaterinburg*. *Hygiene and sanitation*, 5, 38-32. [in Russian].
2. Archypova, E.Y., Okonenko, T.Y. (2007). *Characteristics of morbidity of the population of Veliky Novgorod taking into account the level of air pollution*. *Human ecology*, 5, 11-14. [in Russian].
3. Bashtannik, M.P., Jemer N.S., Kiptenko, E.M., Kozlenko, T.V. (2014). *Air pollution state the territory of Ukraine*. *Scientific Works of UkrNDGMI*, 266, 70-93. [in Ukrainian].
4. Byekyetov, V.Ye., Yevtuxova, G.P., Lomakina, O.S. (2016). *Analysis and assessment of atmospheric air pollution in Kharkiv. Man and the environment. Problems of neocology*, 3-4, 97-103. [in Ukrainian].
5. Vaskin, R. A., Vaskina, I. V. (2005). *Analysis of the dynamics of air pollution in Ukraine by vehicle emissions*. *Bulletin of the Mykhailo Ostrohradsky Kyiv State Pedagogical University*, 58, 109-112. [in Ukrainian].
6. Homonaj, V. I., Lobko, V. Ju., Chodakovskyy, V. S. (2007). *Formaldehyde is the main component of air pollution by road transport in the cities of Ukraine*. *Environmental Bulletin*, 1(41), 10-12. [in Ukrainian].
7. Donec, M. P., Valovenko, A. H., Petrusenko, L. M. (2010). *Hygienic assessment of air pollution in the Chernihiv region*. *Environment and health*, 4 (55), 63-67. [in Ukrainian].
8. DSP-201-97. *State sanitary rules of protection of atmospheric air of inhabited cities from pollution by chemical and biological substances*. Introduced by the Order of the Ministry of Health of Ukraine № 201 dated July 9, 1997. Electronic resource. Available at: <http://kisloroda.net.ua/articles/view/65.html>
9. *Ecological passport of Lutsk*. Electronic resource. Available at: <https://voladm.gov.ua/article/ekologichniy-pasport-mlucka>. [in Ukrainian].
10. Kyreeva, Y. S., Chernychenko, Y. A., Lytvychenko, O. N. (2007). *Hygienic assessment of the risk of air pollution of industrial cities of Ukraine for public health*. *Hygiene and sanitation*, 1, 17-21. [in Russian].
11. Klejn, S.V., Zajceva N.V., Maj, Y.V., Balashov, S.Yu., Zagorodnov, S.Yu., Goryachev, D.V., Tyxonova, Y.V., Andryshunas, A.M (2020). *Formation of atmospheric air quality monitoring programs for social and hygienic monitoring tasks: practical experience in implementing the activities of the federal project "Clean Air"*. *Hygiene and sanitation*, 99 (11), 1196-1202. [in Russian].
12. Kolesnyk, V.Je., Pavlychenko, A.V., Kalinina, K.R. (2017). *Ecological classification of atmospheric air quality according to complex indices of its pollution*. *Geotechnical mechanics*, 137, 156-169. [in Ukrainian].
13. *Comprehensive environmental protection program of the city of Lutsk for 2018-2020*. Electronic resource. Available at: <https://www.lutskrada.gov.ua/documents/pro-zatverdzhennya-kompleksnyi-programy-ohorony-navkolishnogo-pryrodnogo-seredovyshcha>. [in Ukrainian].
14. Maljejev, V.O., Bezpалchenko, V.M., Semenchenko, O.O. (2018). *Atmospheric air of city Kherson: condition and problems*. *Environmental sciences*, 3 (22), 47-52. [in Ukrainian].
15. *Methodical recommendations "Assessment of the risk to public health from air pollution"*. Approved by the Order of the Ministry of Health of Ukraine № 184 dated 13.04.2007. Electronic resource. Available at: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=6902> [in Ukrainian].
16. Molchak, Ja.O., Fesyuk, V.O., Kartava, O.F. (2003). *Lutsk: current ecological condition and problems*. Lutsk: RVV LDTU, 488. [in Ukrainian].
17. *Review of the state of environmental pollution on the territory of Ukraine according to the observations of hydrometeorological organizations (2014-19)*. Electronic resource. Available at: http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1. [in Ukrainian].
18. *Atmospheric air condition and non-infectious morbidity*. Electronic resource. Available at: http://cgz.vn.ua/problematika-gromadskogo-zdorovya/problematika-gromadskogo-zdorovya_455.html. [in Ukrainian].
19. Stahiv, I.R. (2013). *The impact of air pollution on the health of the population in 2001-2010*. *Theoretical and applied aspects of geoinformatics*, 126-132. [in Ukrainian].
20. *Current ecological condition and prospects of ecologically safe sustainable development of Volyn region: collective monograph*. (2016). Ed. V.O. Fesyuk. Kyiv: TOV Pidpryjemstvo Vi En Ej, 316. [in Ukrainian].
21. Tafееva, E.A., Yvanov, A.V., Axmetzyanova, Y.F. (2015). *Monitoring of air pollution as a risk factor for the health of the population of Kazan*. *Hygiene and sanitation*, 94 (3), 37-40. [in Russian].
22. Fesyuk, V.O. (2008). *Constructive-geographical bases of formation of ecological condition of large cities of North-Western Ukraine*. Lutsk: RVV LNTU, 344. [in Ukrainian].
23. Fesyuk, V.O. (2013). *Lutsk: sustainable development and socio-environmental problems*. Lutsk: RVV LNTU, 304. [in Ukrainian].
24. *Clear air*. Electronic resource. Available at: <https://air.lutskrada.gov.ua>. [in Ukrainian].

25. Chugai, A.V. (2013). Assessment of pollution of the air pool of the city of Mykolaiv. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 13, 10–17. [in Ukrainian].
26. Chugai, A.V., Kolesnik, A.V., Demianenko, O.V., Romanenko, S.E. (2015). Assessment of the air pollution level of coastal zone cities North Western Black Sea. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Ecology"*, 13, 91-97. [in Ukrainian].
27. Chugai, A.V., Patraman, H.S. (2017). Contamination of atmospheric air of cities of coastal zone cities North Western Black Sea region by specific contaminants. *Man and the environment. Problems of neoecology*, 1-2(27), 113-122. [in Ukrainian].
28. Chugai, A.V. (2019). State and quality of the air pool Odessa industrial urban agglomerations. *Environmental safety*, 2 (28), 81-85. [in Ukrainian].
29. Jacenko, O., Shevchenko, O., Snizko, S. (2017). Classification of cities of Ukraine by the level of air pollution. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Geography*, 3(68), 25-30. [in Ukrainian].
30. Chun Lee C., Cheng, M., Choo, W., Pin, C., Yeong, T., Chiew, S. (2020). Evaluation of air quality in Sunway City, Selangor, Malaysia from a mobile monitoring campaign using air pollution micro-sensors. *Environmental Pollution*, 265, 263-271. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115058>
31. Cooper, C.D., Alley, F.C. (2011). *Air Pollution Control: A Design Approach*. Long Grove (IL): Waveland press, 839.
32. Di Menno, A., Bucchianicoa, M., Brighettib, A., Cattania, G., Costac, C. (2019). Combined effects of air pollution and allergens in the city of Rome. *Urban Forestry & Urban Greening*, 37, 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.001>
33. Font, A., Guiseppin, L., Blangiardo, M., Ghersi, V., Fuller, G. (2019). A tale of two cities: is air pollution improving in Paris and London? *Environmental Pollution*, 249, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.040>
34. Gallagher, J., Gill, L., McNabola, A. (2013). The passive control of air pollution exposure in Dublin, Ireland: A combined measurement and modelling case study. *Science of the Total Environment*, 458-460, 331-346. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.079>
35. Guttikunda, S., Nishadh, K., PujaJawahar, A. (2019). Air pollution knowledge assessments (APnA) for 20 Indian cities. *Urban Climate*, 3, 124-141. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.11.005>
36. Hu, K., Keenan, K., Hale, J., Börger, T. (2020). The association between city-level air pollution and frailty among the elderly population in China. *Health & Place*, 64, 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2020.102362>
37. Khan, J., Kakosimos, K., Jensen, S., Hertel, O., Sorensen, M., Gulliver, J., Ketznel, M. (2020). The spatial relationship between traffic-related air pollution and noise in two Danish cities: Implications for health-related studies. *Science of The Total Environment*, 726, 102-114. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138577>
38. Kelly, F., Fuller, H., Walton, G., Fussell, J. (2012). Monitoring air pollution: use of early warning systems for public health. *Respirology*, 1, 7-19.
39. Lee, D., Robertson, C., Ramsay, C., Gillespie, C., Napier, G. (2019). Estimating the health impact of air pollution in Scotland, and the resulting benefits of reducing concentrations in city centres. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*, 29, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2019.02.003>
40. Shupranova, L.V., Khlopova, V.M., Kharytonov, M.M. (2014). Air pollution assessment in the Dnepropetrovsk industrial megapolice of Ukraine. *Air Pollution Modeling and its Application XXII. NATO Science for Peace and Security Series. Springer*, 101-104.
41. Son, Y., O'Neill, M., Hystad, P., Texcalac-Sangrador, J. (2018). Land use regression models to assess air pollution exposure in Mexico City using finer spatial and temporal input parameters. *Science of The Total Environment*, 369, 40-48. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.144>
42. Zhang, K., Batterman, S. (2013). Air pollution and health risks due to vehicle traffic. *Science of The Total Environment*, 450-451, 307-316. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.074>