

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ПОГОДЖЕНО
Декан факультету
захисту рослин, біотехнологій та екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
загальної екології, радіобіології та безпеки
життєдіяльності

_____ **Коломієць Ю.В.**
«___» _____ 2025 р.

_____ **Клепко А.В.**
«___» _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Обґрунтування системи моніторингу атмосферного повітря міста Кременець»

Спеціальність _____ **101 «Екологія»**
(код і назва)

Освітня програма _____ **«Екологічний контроль та аудит»**
(назва)

Орієнтація освітньої програми _____ **освітньо-професійна**
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

кандидат сільськогосподарських наук, доцент _____ **Ладика М. М.**

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

доктор педагогічних наук, професор _____ **Боголюбов В. М.**

Виконала

_____ **Бєбнева Є. Р.**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
загальної екології, радіобіології
та безпеки життєдіяльності
професор, доктор біологічних наук
_____ Клепко А.В.
« ___ » _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ
РОБОТИ ЗДОБУВАЧУ
Бєбнєвій Єлизаветі Романівні**

Спеціальність: 101-Екологія

Освітня програма: Екологічний контроль та аудит

Орієнтація освітньої програми: Освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Обґрунтування системи моніторингу атмосферного повітря міста Кременець» затверджена наказом від: 05 листопада 2024 р. №1979 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 14 листопада 2025 року

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Провести аналіз сучасного стану атмосферного повітря м. Кременець на основі літературних джерел та даних моніторингу.
2. Провести польові дослідження для визначення фізіологічного та морфологічного стану хвойних дерев у межах міста.
3. Ідентифікувати потенційні джерела забруднення атмосферного повітря за допомогою сучасних аналізаторів та візуального обстеження територій.
4. Визначити концентрації основних забруднюючих речовин у повітрі м. Кременець та здійснити порівняльний аналіз отриманих даних із нормативними значеннями державних стандартів.
5. Розробити рекомендації щодо мінімізації рівня забруднення та покращення якості атмосферного повітря у місті Кременець.

Дата видачі завдання: 20 вересня 2024 року

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи: _____ Боголюбов В. М.

Завдання прийняла до виконання: _____ Бєбнєва Є. Р.

РЕФЕРАТ

Магістерську кваліфікаційну роботу виконано на 65 сторінках, містить 5 таблиць, 12 рисунків та 55 джерел використаної літератури, додатки.

Мета дослідження: визначення рівня забруднення атмосферного повітря у місті Кременець та розробка рекомендацій для покращення його якості.

Об'єкт дослідження: процеси забруднення атмосферного повітря у м. Кременець.

Предмет дослідження: якість атмосферного повітря у м. Кременець.

Для проведення фітоіндикаційних досліджень якості атмосферного повітря м. Кременець використовувалися такі види хвойних рослин: туя західна (*Thuja occidentalis L.*), ялина європейська (*Picea abies (L.) Karst.*), ялівець козацький (*Juniperus communis L.*) та кипарисовик лавсона (*Chamaecyparis lawsoniana S.*). Візуальні обстеження проводилися у 2023 та у 2025 рр. на трьох моніторингових ділянках з різним антропогенним навантаженням. Дослідження проводилися за допомогою шкали санітарного стану хвойних дерев, наведену в додатку 3 «Санітарних правил в лісах України».

Згідно отриманих даних, слабкий рівень навантаження спостерігався на території ботанічного саду. Санітарний стан дерев був на рівні I категорії – без ознак ослаблення та II категорії – ослаблені. На даній ділянці не було рослин зі значними пошкодженнями чи некрозами.

У центрі міста – на території з помірним навантаженням морфологічний стан дерев у 2025 був кращим, ніж у 2023. Проте на ділянці біля залізничної станції та автомагістральної дороги стан дерев у 2025 є незадовільним. На даній ділянці переважали дуже ослаблені хвойні рослини (III-IV категорії відповідно).

Хвойні є чудовими індикаторами забруднення повітря, тож пригнічений стан особин, що зростали на ділянці з сильним рівнем забруднення показує наявність поллютантів у приземному шарі атмосфери. Найбільш пригнічений візуальний стан хвойних насаджень, що зростали обабіч залізничної станції та автомагістралі, а найбільш здорові насадження знаходяться у ботанічному саду.

Дана тенденція вказує на неоднорідний стан якості атмосферного повітря у різних частинах м. Кременець.

Для проведення вимірювань основних поллютантів використовувалися аналізатор якості повітря SEM DT-9881 та мультигазовий детектор WALCOM MGD-04 газоаналізатор. Так, у Кременці було зафіксовано: вуглекислий газ (CO₂), дрібнодисперсні частинки (PM), діоксид сірки (SO₂), монооксид вуглецю (CO), діоксиди азоту (NO_x), аміак (NH₃) та приземний озон (O₃).

Проведені вимірювання протягом 2024-2025 рр. показали, що концентрація речовин у атмосферному повітрі переважно була в межах норми. Водночас було зафіксовано поодинокі випадки короткотривалих перевищень. Важливо регулярно проводити моніторинг атмосферного повітря м. Кременець задля фіксації випадків перевищення рівня забрудників у повітрі. Згідно отриманих нами даних основними джерелами забруднення є використання твердопаливних котлів узимку, викиди від двигунів внутрішнього згорання та наявність вантажної залізничної станції.

Ключові слова: атмосферне повітря, фітоіндикація, хвойні насадження, забруднення, діоксид сірки (SO₂), оксиди азоту (NO_x), дрібнодисперсні частинки (PM_{2.5} та PM₁₀), вуглекислий газ (CO₂), озон (O₃).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ I. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	9
1.1. Нормативно-правове забезпечення та сучасні проблеми охорони атмосферного повітря	9
1.2. Характеристика природних умов м. Кременець	15
1.3. Залежність стану атмосферного повітря від різних чинників	17
РОЗДІЛ II. ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІН ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ФІТОІНДИКАЦІЙНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНУ ХВОЙНИХ НАСАДЖЕНЬ.....	23
2.1. Структура хвойних насаджень моніторингових ділянок	23
2.2. Обґрунтування вибору дослідних ділянок та методика проведення фітоіндикаційного аналізу стану атмосферного повітря	28
2.3. Оцінка та порівняння стану атмосферного повітря на трьох дослідних ділянках у 2023-2025 рр.....	33
2.3.1. Оцінка та порівняння змін стану хвойних рослин на ділянці зі значним рівнем забруднення у 2023-2025 рр.....	33
2.3.2. Аналіз та порівняння змін стану хвойних рослин на ділянці з проміжним рівнем антропогенного навантаження (територія меморіалу) у 2023-2025 рр.....	36
2.3.3. Оцінка та порівняння змін стану атмосферного повітря на ділянці зі слабким рівнем забруднення (територія Кременецького ботанічного саду) в 2023-2025 рр.....	40
2.4. Залежність рівня забруднення атмосферного повітря та морфологічних змін хвойних насаджень.....	44
РОЗДІЛ III. ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. КРЕМЕНЕЦЬ.....	46
3.1. Стан атмосферного повітря моніторингових ділянок м. Кременець згідно даних аналізаторів повітря.....	46

3.2. Стан атмосферного повітря в літній період у Голосіївському районі м. Київ згідно даних станції моніторингу.....	49
3.3. Порівняння отриманих даних у м. Кременець та в Голосіївському районі м. Київ.....	51
3.4. Результати щодо стану атмосферного повітря у м. Кременець та рекомендації задля покращення ситуації.....	53
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59
ДОДАТКИ.....	66

ВСТУП

Якість атмосферного повітря істотно впливає на стан екосистем у всьому світі. Це критично важливий фактор здоров'я людини. Пришвидшений промисловий розвиток ХХ-ХХІ століття, урбанізація та стрімке збільшення кількості автомобільного транспорту значно поглиблюють наявні екологічні проблеми. Антропогенна діяльність сприяє забрудненню атмосферного повітря. Основними джерелами забруднення часто є викиди від промисловості, вихлопні гази транспортних засобів, сільське господарство тощо. Перерахована діяльність спричиняє перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) діоксиду сірки (SO₂), оксидів азоту (NO_x), дрібнодисперсних частинок (PM_{2.5} та PM₁₀) та летких органічних сполук (ЛОС). Надмірна концентрація даних речовин погіршує якість повітря та загрожує здоров'ю населення.

Регулярне проведення моніторингових досліджень стану атмосферного повітря має вирішальне значення для оцінки екологічних ризиків та формування екологічної політики кожного міста України. Так, серед сучасних методів, що використовувалися під час проведення досліджень: автоматизовані станції моніторингу, метод біоіндикації, хімічний аналіз зразків повітря, вимірювання за допомогою газоаналізаторів та технології дистанційного зондування. Використання цих методів допомагає отримувати актуальні дані, що можна використати для подальшої екстраполяції отриманих результатів на найближче майбутнє та покращення стану повітря.

Метою дослідження є визначення рівня забруднення атмосферного повітря у місті Кременець та розробка рекомендацій для покращення його якості.

Об'єкт дослідження – процеси забруднення атмосферного повітря у м. Кременець.

Предмет дослідження – якість атмосферного повітря у м. Кременець.

Завдання дослідження:

1. Здійснити аналіз стану атмосферного повітря м. Кременець на основі літературних джерел та даних моніторингу.

2. Провести польові дослідження для визначення фізіологічного та морфологічного стану хвойних насаджень у межах міста.

3. Виявити наявність потенційних джерел забруднення атмосферного повітря за допомогою використання сучасних аналізаторів та візуального обстеження територій.

4. Визначити концентрації основних забруднюючих речовин у повітрі м. Кременець та здійснити порівняльний аналіз отриманих даних із нормативними значеннями державних стандартів.

5. Розробити рекомендації задля покращення якості атмосферного повітря у місті Кременець.

Методи досліджень: фітоіндикація за допомогою хвойних насаджень, аналізування, порівняння, статистичний аналіз, інструментальні вимірювання, польові дослідження, просторовий аналіз (ГІС), моделювання та узагальнення.

РОЗДІЛ І. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Нормативно-правове забезпечення та сучасні проблеми охорони атмосферного повітря

Атмосферне повітря – це один із найважливіших компонентів природного середовища та основа для існування всього живого на Землі. Це один із найцінніших природних ресурсів, що складається з суміші газів, що містяться поза межами приміщень. Гостра проблема значної кількості населених пунктів України – високий рівень забруднення повітря.

Основні труднощі у сфері охорони атмосферного повітря полягають у постійному пошуку способів ліквідації та запобігання погіршення якості повітря. У зв'язку з вищевказаним, необхідно на державному рівні здійснювати організаційно-правові заходи контролю та обмеження викидів поллютантів. Одними з основних методів регулювання є нормативно-правові документи, що окреслюють правові, екологічні та інші вимоги. Так, чинне законодавство держави включає в себе:

- Конституцію України;
- Кодекси: КУпАП (Кодекс України про адміністративні порушення), ККУ (Кримінальний Кодекс України), Земельний та Водний.
- Закони;
- Постанови;
- Накази;
- Стандарти та нормативи;
- Інші законодавчі акти, що регулюють ГДК поллютантів, сприяють запобіганню та покаранню за перевищення встановлених норм.

Чимало вчених у своїх працях вказували на проблему стану атмосферного повітря та розвитку правової охорони, зокрема: І. О. Александров, В. І. Андрейцева, М. М. Бринчук, С. В. Ворушило, Т. М. Жиравецький, С. В. Князь,

О. В. Кравченко, О. В. Логачова, Н. Р. Малишева, В. В. Петров, В. К. Рибачек, С. В. Сидоренко, М. Ф. Тіщенко, Ю. С. Шемшученко та інші [1, ст. 33; 5, ст. 12]. Це серйозна екологічна загроза життю та здоров'ю населення. Згідно даних, опублікованих експертами ВООЗ у 2021 році, щороку близько семи мільйонів людей передчасно гинуть через погану якість атмосферного повітря [2, ст. 24].

Основні чинні нормативно-правові документи України, що регулюють правові відносини у сфері охорони атмосферного повітря:

➤ Конституція України – це основний нормативно-правовий акт, у якому вказано всі фундаментальні положення щодо прав, свободи та обов'язків громадян країни. Щодо охорони атмосферного повітря, у статті 13 зазначено, що атмосферне повітря – об'єкт права власності народу. Водночас у цій статті вказано, що права власника здійснюються органами державної влади та місцевого самоврядування згідно положень Конституції [3].

➤ Земельний кодекс України регулює відносини у сфері охорони атмосферного повітря (як зазначено у 3 статті). Наприклад, якщо на сусідній ділянці здійснюються дії, що забруднюють повітря, згідно 104 статті Земельного кодексу можна вимагати припинення даної діяльності [4].

➤ Водний кодекс України також регулює відносини у сфері охорони атмосферного повітря, якщо вони дотичні до користування водними ресурсами [5].

➤ Кодекс України про адміністративні правопорушення (КУпАП) передбачає покарання за вчинення адміністративних правопорушень у сфері охорони атмосферного повітря. Так, в КУпАП відведено низку статей, присвячених відповідальності за правопорушення у цій сфері: у статті 78 регулюється правова відповідальність за викиди шкідливих речовин у атмосферу, статтею 79 передбачено попередження або штрафування за порушення правил експлуатації підприємств і споруд тощо [7].

➤ Кримінальний кодекс України (ККУ), зокрема статті 241 «Забруднення атмосферного повітря» та 282 «Порушення правил використання повітряного простору» передбачають покарання за значне забруднення

атмосферного повітря, що становить загрозу життю чи здоров'ю людей та навколишньому середовищу [8].

➤ Закон України «Про охорону атмосферного повітря (від 16.10.1992 № 2707-XII) встановлює основні вимоги до суб'єктів щодо охорони повітря задля запобігання, збереження та відновлення атмосферного повітря. Основною метою Закону є створення необхідних сприятливих умов для чистого та безпечного довкілля, а також здоров'я та благополуччя людей [9].

➤ Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (від 25.06.1991 № 1264-XII) регулює правові відносини, зокрема й щодо охорони атмосферного повітря [10].

➤ Закон України «Про оцінку впливу на довкілля (від 23.05.2017 № 2059-VIII) у статті 1 зазначає, що небезпечні наслідки будь-якої запланованої діяльності для повітря є частиною впливу на довкілля, та згідно статті 6 у звіті з ОВД повинна бути оцінка за видами та кількістю очікуваних викидів у повітря, що можуть виникнути в результаті планованої діяльності [11].

➤ Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку ведення державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря» (від 13.12.2001 № 1655) [12].

➤ Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» (від 14.08.2019 № 827).

➤ Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України «Про затвердження Переліку забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню» (від 27.06.2006 № 309) [13].

➤ інші нормативно-правові акти, у яких є статті, що прямо чи опосередковано стосуються охорони атмосферного повітря.

Обмеження викидів та штрафування за порушення чинних законодавчих норм – це можливе вирішення проблеми забруднення атмосферного повітря на державному рівні. Законодавство України постійно оновлюється, відбуваються певні зміни в його організації та структурі. Так, на засіданні 21 липня 2025 року

уряд Кабінету Міністрів підтримав рішення створити на базі колишнього Міністерства довкілля новий структурний орган – «Міністерство економіки, довкілля та сільського господарства України [14, 15].

Згідно Угоди про асоціацію між Україною та ЄС, схваленої 16 вересня 2014 р. Україна повинна консолідувати співпрацю на міжнародному рівні задля вирішення екологічних проблем. Один із восьми секторів, зазначених в угоді присвячений охороні атмосферного повітря [5, с. 109]. Інтеграція чинного законодавства - це також одна з вимог для вступу України в Європейський Союз (ЄС), тому важливим аспектом є впровадження міжнародних угод: директив та регламентів.

У період між 2007 та 2012 роками в Брюсселі було проведено 21 раунд переговорів щодо «угоди про асоціацію між Україною з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їїніми державами-членами, з іншої сторони». Унаслідок тривалого періоду ратифікації угода набула чинності 1 вересня 2017 року, а остання редакція відбулася 30 листопада 2023 року [16]. Угода містить зобов'язання України: адаптувати та забезпечувати виконання чинного законодавства відповідно до *acquis* ЄС. Так, у статтях 361 та 365 вказано, що співробітництво має на меті збереження та покращення якості повітря [17].

Женевську конвенцію про транскордонне забруднення повітря на великі відстані було прийнято 13 листопада 1979 року на зустрічі в рамках Європейської економічної комісії з охорони навколишнього середовища. Вона набрала чинність в Україні 16 березня 1983 року [19]. Станом на 2025 рік конвенція нараховує 51 країну-учасницю [19]. Серед міжнародних договорів Женевська конвенція має визначальне значення у сфері охорони атмосферного повітря України. У документі вказано основні положення щодо контролю викидів можливих транскордонних поллютантів держав-учасників.

Віденська конвенція про захист озонового шару була першою конвенцією, яку підписали всі країни-учасниці. Конвенція мала на меті сприяти обміну інформацією між країнами-учасницями щодо впливу діяльності людини на

озоновий шар задля запобігання виснаження озонowego шару [20]. Україна також прийняла Монреальський протокол 16 вересня 1987 року [21]. Документ передбачає поетапне скорочення споживання та виробництва озono-руйнуючих речовин (ОРР) задля запобігання руйнування озонowego шару [22].

Декларація Ріо-де-Жанейро з питань довкілля та розвитку, прийнята 14 червня 1992 на конференції ООН створена для вирішення питання охорони довкілля, включаючи атмосферне повітря [23, ст. 5]. Документ складається з 27 принципів, що стосуються сталого розвитку.

Україною було прийнято ряд директив ЄС, що стосуються охорони атмосферного повітря, зокрема серед чинних у 2025 році:

- Директива 1994/63/ЄС «про контроль викидів летких речовин органічних сполук» [24];
- Директива 2004/42/ЄС «про обмеження викидів летких органічних сполук через використання органічних розчинників у певних фарбах і лаках та продуктах повторної обробки автомобілів» [25];
- Директива 2004/107/ЄС «про арсен, кадмій, ртуть, нікель і поліциклічні ароматичні вуглеводні в атмосферному повітрі» [26];
- Директива 2008/50/ЄС «про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи» [27];
- Директива 2010/75/ЄС «про промислові викиди» [28];
- Директива 2016/2284/ЄС «про скорочення викидів окремих атмосферних забруднюючих речовин на національному рівні на 2020 та 2030 рр.» [29];
- Директива 2024/2881/ЄС «про якість атмосферного повітря» [30];

У наш час на тлі російської військової агресії особливо гостро постає проблема охорони атмосферного повітря. Унаслідок ведення бойових дій на території країни значно погіршується стан навколишнього середовища. Незважаючи на це, Україна бере активну участь у виконанні міжнародних зобов'язань згідно документів, наведених вище.

Згідно результатів Звіту Програми розвитку ООН щодо боротьби зі зміною клімату в 2021 році Україна посіла 18 місце серед 30 країн з найбільшою кількістю шкідливих викидів у атмосферу [31, 109]. Дрібні тверді частинки (PM_{2.5}) – головний фактор ризику для здоров'я населення, адже щороку по всьому світі спричиняє до 4 мільйонів передчасних смертей [32, ст. 140]. Основним джерелом викидів дрібнодисперсних частинок в Україні є вантажні та легкові автомобілі та промисловість [6, ст. 17]. Гідрометеорологічною службою у 53 містах регулярно проводиться моніторинг якості атмосферного повітря на 162 постах базової мережі [6, ст. 19].

Промисловість – це ще одне значне джерело забруднення атмосферного повітря різними частинками. Вирішенням проблеми може бути торгівля квотами на викиди. Даний механізм може надати змогу підприємствам зменшити витрати та не забруднювати довкілля за умови рівномірного змішування викидів, що надходять із різних джерел [33, ст. 6].

Ще одним джерелом забруднення є опалення житлових будинків за допомогою твердопаливних котлів. Даний вид забруднення притаманний не лише великим містам, а й всім населеним пунктам України. Можна спостерігати тенденцію щодо погіршення якості атмосферного повітря під час опалювального сезону.

Важливо посилювати роль громадськості в контексті публічного управління в сфері охорони атмосферного повітря. Недостатня обізнаність населення у напрямку екологічної освіти як прямо, так і опосередковано впливає на погіршення стану довкілля. Важливо залучати населення й до публічних обговорень. Варто зазначити, що участь громадськості у процесі формування державної політики та участь у політичній діяльності на законодавчому рівні відрізняються за рахунок визначення певної діяльності [34, ст. 35]. Важливо посилювати просвітницьку діяльність у сфері охорони атмосферного повітря.

1.2. Характеристика природних умов м. Кременець

Кременецькі гори – це унікальна місцевість Північно-Подільської височини, що простягається на території Тернопільської області до Рівненської та Львівської областей на схід від долини річки Іква та на захід від річки Вілія. Рельєф гір є чітко розчленованим із глибокими ярами та ущелинами зі стрімкими схилами, а також вираженими карстовими процесами тощо.

Порівняно з прилеглими територіями, для Кременеччини характерною є значна лісистість. Кременецькі гори складаються з гір-останців, зокрема Замкової (Бони), Стіжку, Маслятину, Бужі та інших (рис. 1.1) [35].

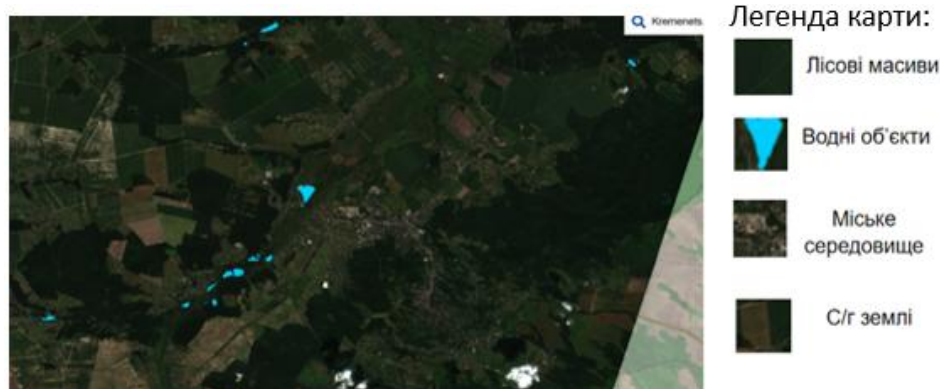


Рис. 1.1. Карта м. Кременець та прилеглих районних територій станом на 23.09.2025 р., що були досліджені за допомогою ГІС технологій [36]

Кременецькі гори оточують однойменне місто з двох сторін, формуючи унікальний температурний та повітряний режими. Кременець розташований на території з помірно-континентальним кліматом. Для регіону притаманне помірно тепле літо зі значними опадами та м'яка зима з відлигами. Улітку гори пом'якшують температуру повітря, а взимку послаблюють холодні вітри. Водночас, коли повітряні потоки проходять повз територію, не захищені горами, спостерігаються шквали вітру до 25 м/с, що руйнують дерева та іноді зривають дахи зі старих домівок. Для наглядної демонстрації переважання повітряних мас певних напрямків за допомогою сайту «windrose.huzy» [37] нами створено рози вітрів м. Кременець (ДОДАТОК А).

Варто зазначити, що територія вирізняється значною лісистістю, та більша частина лісів (що значно затримують потоки повітря) зростає у північній частині

Кременецького району. Також район характеризується великою кількістю водних об'єктів. Гідрографічна мережа представлена 21 елементом річкової системи.

Тип клімату в Кременці помірно-континентальний, проте гори, що оточують місто з двох сторін значно пом'якшують погодні умови. Згідно проведеного нами дослідження, Кременець характеризується значним рівнем вологості: понад 50 % влітку та понад 80 % взимку (рис. 1.2.). Це явище притаманне західній Україні. Згідно рис. 1.2. у 2025 році вологість повітря у зимовий період переважно становила 80-90 %, у літній 40-70 %. Підвищена вологість повітря посилює сприйняття холоду та підвищує швидкість перегрівання організму.

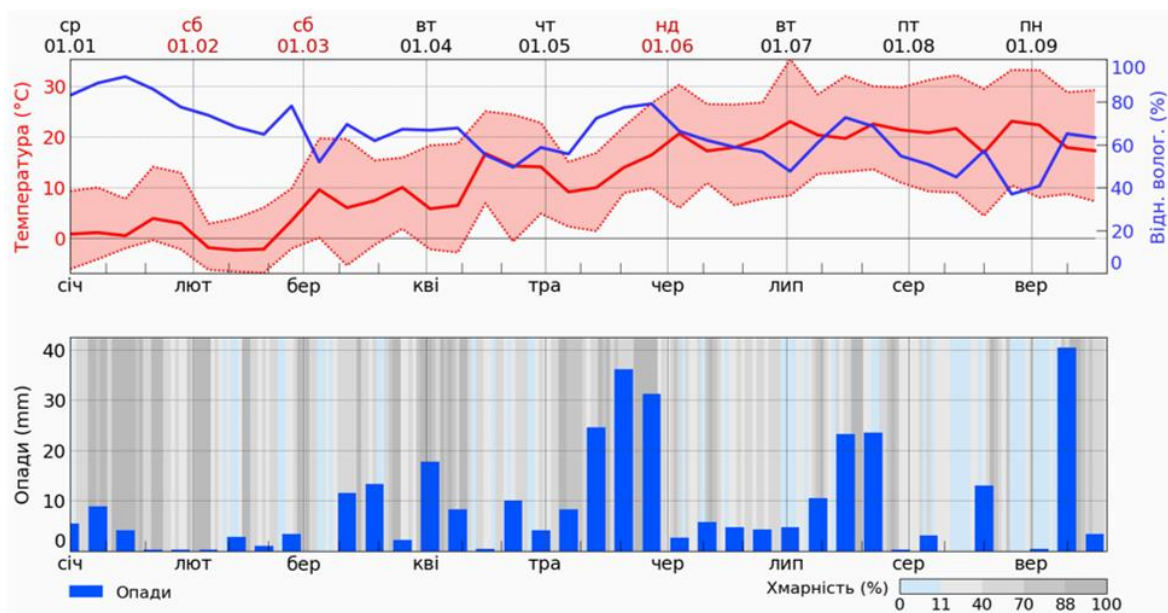


Рис. 1.2. Схема температурного режиму та кількості опадів у м. Кременець за 2025 рік [38]

Абсолютний максимум температур в м. Кременець у серпні + 37 °C, у той час як абсолютний мінімум у лютому – 35 °C. Середня річна температура повітря становить + 7 °C, амплітуда коливань близько 22 °C. Сума активних температур міста 2500 °C, опадів за рік в середньому випадає понад 620 мм.

Згідно рис. 1.2. у 2025 році взимку температура не опускалася нижче ніж – 5 °C та в середньому дорівнювала + 10 °C. У весняний період температура

зростала, сягаючи свого максимуму + °C у червні. Як ми можемо побачити на рис. 1.2. влітку трималася висока температура (+ 20 °C), проте спостерігалось її періодичне пониження. У вересні температура знову знизилася до + 10 °C. Кількість опадів узимку в 2025 році була не значною, до 40 мм за один день.

Унаслідок глобального потепління останніми роками у Кременці спостерігається зменшення кількості опадів узимку та підвищення температури повітря влітку. У зимовий період року домінують опади у вигляді дощів, а також спостерігаються часті відлиги. Улітку чергуються тижні з високими температурами та відсутністю опадів, та навпаки, дні з інтенсивними дощами (що часто сприяють пониженню температури повітря).

1.3. Залежність стану атмосферного повітря від різних чинників

Серед найчистіших міст України в 2025 році Тернопільська область займає 7 місце [38]. Даний рейтинг базувався на тому, наскільки міста розвивають міські парки, підтримують чистоту навколишнього середовища, демонструють сприятливий розвиток благоустрою та екологізації території населених пунктів. Для порівняння, Київ часто посідає 10 місце у світових рейтингах серед міст із забрудненим атмосферним повітрям. Місце в світовому рейтингу безпосередньо залежить від погодних умов, пожеж та антициклонів. Навіть якщо виключити наведені фактори місто буде займати 35-40 місце. Шкідливий вплив забруднення повітря залишається критичною проблемою охорони здоров'я та правосуддя. Важливо відслідковувати тенденції щодо причин та способів вирішення цієї проблеми.

Індекс забруднення повітря – це кількісний інструмент, за допомогою якого можна уніфіковано повідомляти дані про забруднення повітря на певній території. Існує багато різних індексів, що відображають глобальну ситуацію щодо рівня забруднення міст. Єдиним уніфікованим на глобальному рівні вважається комплексний індекс забруднення атмосферного повітря (КІЗА). Для розрахунку КІЗА за допомогою даних із стаціонарних постів гідрометеорологічної служби та пересувних постів беруться шість основних

забруднювачів: діоксид сірки (SO_2), двоокис азоту (NO_2), діоксид вуглецю (CO_2), пил, сажа та озон. У невеликих населених пунктах якщо й вимірюються певні показники якості повітря, вони зазвичай не враховують концентрації озону та дрібно- та крупнодисперсних частинок [6, ст. 20].

Моніторинг якості повітря може проводити не лише науковець чи спеціалізований кваліфікований працівник, а й громадськість. Так, функціонують мережі «SaveDnipro», «EcoCity», «SaveEcoBot» - неприбуткові проекти української мережі для моніторингу стану повітря за кількома показниками (у залежності від типу станції показники відрізняються). По всій Україні вже встановлено понад 1000 автоматичних станцій моніторингу стану атмосферного повітря. Так, команда «EcoCity» активно працює над покращенням приладів, зокрема наразі наявні станції, що у реальному часі показують дані про 19 полютантів [34, ст. 37]. У додатку «Київ Цифровий» та за підписки на бота в соціальних мережах у режимі реального часу можна дізнатися дані про перевищення ГДК. Також одразу можна отримати інформацію щодо кожного забруднювача та рекомендовані дії у випадку перевищення нормальної концентрації певної речовини у повітрі.

Громадська організація «SaveDnipro» створили «SaveEcoBot», що цілодобово поширює екологічну інформацію, зокрема про стан повітря у широковикористовуваних соціальних мережах та месенджерах, таких як Telegram, Viber, Facebook Messenger тощо [34, ст. 38]. Також надаються рекомендації, що необхідно зробити задля мінімізації шкоди забрудненого повітря, коли якийсь із показників «шкалить».

Кабінетом Міністрів України 14 серпня 2019 року затверджено Постанову № 827 «деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» [40]. У додатку 2 цієї постанови вказано перелік забруднюючих речовин, що мають встановлені ГДК та повинні регулярно вимірюватися в усіх великих містах України. Зокрема до основних речовин належать: діоксид сірки, діоксид азоту та оксиди азоту, бензол, оксид вуглецю, свинець, тверді частинки, арсен, кадмій, ртуть, нікель, бенз(а)пірен, озон [40].

Нижче окреслимо детальніше речовини, що, згідно проведеного нами дослідження були зафіксовані в атмосферному повітрі у м. Кременець та в Голосіївському районі м. Київ.

Вуглекислий газ (CO_2) займає приблизно 0,03-0,04 % повітря, проте варто врахувати, що за останні 100 років його частка в атмосфері зросла на 20-30 %. Перевищення CO_2 в довкіллі впливає на виникнення парникового ефекту, опосередковано впливаючи на глобальне потепління [41, ст. 126, 128]. Перевищення ГДК вуглекислого газу спричинене низкою факторів, зокрема через:

- ✓ Артилерійські обстріли та застосування вибухівки внаслідок російської агресії;
- ✓ Знеліснення внаслідок збільшення площі сільськогосподарських угідь за рахунок вирубування лісових ділянок;
- ✓ Промислових процесів, зокрема викидів із заводів;
- ✓ Спалювання викопного палива (особливо в зимовий період року);
- ✓ Автомобільний транспорт тощо.

Перевищення концентрації вуглекислого газу в повітрі шкодить здоров'ю людини, провокуючи ослаблення організму, задуху, запаморочення та головні болі. Недарма його називають «тихим убивцею», адже він безбарвний та немає запаху, що ускладнює його виявлення пересічним громадянином.

Дрібнодисперсні частинки ($\text{PM}_{2.5}$) та (PM_{10}) часто наявні в повітрі у вигляді пилу та сажі. Людське око не в змозі зафіксувати їх наявність. Основними джерелами зважених частинок є:

- ✓ Бомби та ракети, що летять або детонують;
- ✓ Автотранспорт - потрапляють у повітря з вихлопними газами двигунів внутрішнього згоряння;
- ✓ Промислові процеси;
- ✓ Сільське господарство тощо.

Зростання кількості дрібнодисперсних частинок у атмосферному повітрі сприяє погіршенню клімату населених пунктів та впливає на підвищену

туманність міст. Небезпека дрібнодисперсних частинок для здоров'я населення полягає у їх здатності проникати дуже глибоко в легені та кровоносну систему. Особливо небезпечними ці речовини є для людей із алергією та астмою. Навіть якщо на підприємствах встановлено очисне обладнання, $PM_{2.5}$ часто очищується не повністю, проходячи крізь фільтри та потрапляючи в атмосферне повітря. Дрібнодисперсні частинки з часом накопичуються в організмі, що й становить серйозну загрозу для здоров'я населення.

Діоксид сірки (SO_2) – це безбарвний газ із їдким запахом, що утворюється при згоранні палива. Його джерелами можуть бути опалення, теплоелектростанції, пожежі тощо. При потраплянні в атмосферу SO_2 вступає в реакцію з водяною парою, провокуючи випадання кислотних дощів. Діоксид сірки може провокувати подразнення бронхів, очей, алергічні реакції та ін.

Монооксид вуглецю або чадний газ (CO) – це дуже небезпечний для здоров'я людини отруйний газ. Його небезпека заключається у тому, що при потраплянні CO в організм кров перестає передавати кисень у тканини організму, що спричиняє кисневе голодування. При високих концентраціях чадного газу в організмі настає летальний кінець. Значна концентрація монооксиду вуглецю виділяється внаслідок детонації ракет або снарядів, вихлопів автотранспорту, несправних опалювальних приладів, сильних пожеж тощо.

Діоксид азоту (NO_2) – це отруйний газ із специфічним різким запахом та червоно-бурим кольором. Це один із найбільш розповсюджених забруднюючих речовин, вдихання якого може призвести до серйозного отруєння та смерті. Також діоксид азоту є одним із компонентів смогу та певною мірою спричиняє «парниковий ефект». Основними джерелами діоксиду азоту є:

- ✓ Денітрифікаційна активність мікроорганізмів;
- ✓ Блискавки;
- ✓ Автотранспорт;
- ✓ Пожежі: лісові, на торфовищах тощо;
- ✓ Спалювання викопного палива;

- ✓ Робота промислових підприємств;
- ✓ Сільське господарство та ін.

Останні роки викиди діоксиду азоту значно зростають, що пов'язано з урбанізацією та розвитком сільського господарства. Навіть при незначній кількості газу, що потрапляє в організм людини, виникають: печіння в очах, подразнення горла та слизової оболонки і т.д.

Аміак (NH_3) – токсичний газ, що може спричинити серйозні подразнення слизової оболонки, дихальної системи та очей. Його особливість у тому, що він легший за повітря. У NH_3 висока розчинність у воді, проте у приміщенні з високою вологістю повітря утворюється гідроксид амонію (нашатирний спирт).

Основні джерела аміаку:

- ✓ Військові дії;
- ✓ Хімічне виробництво;
- ✓ Металургійні заводи;
- ✓ Підприємства коксо-хімічної промисловості тощо.

Зазвичай за рахунок характерного неприємного їдкого запаху аміаку (навіть за незначної концентрації) людина може оперативно зафіксувати його витіки. Водночас, якщо незначна доза NH_3 в повітря вдихатиметься протягом тривалого часу, нюхові рецептори значно притупляються. Якщо в організм людини потрапить висока концентрація аміаку, він провокує серйозні подразнення легень, а з часом і смерть.

Приземний озон (O_3) утворюється внаслідок реакції летких органічних сполук та високої температури від сонячного випромінювання. Навіть відносно низький рівень O_3 (0,1 ppm) може завдати шкоди здоров'ю людини [43]. Тривалий вплив приземного озону для здоров'я людини провокує появу астми. Приземний озон – основний компонент смогу. Небезпека O_3 заключається у тому, що він може мігрувати на дальні дистанції від джерела його утворення [44, ст. 447-448].

Підключення оповіщення про погіршення якості повітря допоможе уникнути значного потрапляння та накопичення поллютантів у організмі. Для

цього можна використати, наприклад, додаток «Київ Цифровий». Варто вживати доцільних заходів, коли якість повітря у регіоні викликає занепокоєння. За умови перевищення вимірюваних речовин відповідні сервіси надають рекомендації щодо подальших дій. Так, при перевищенні ГДК дрібнодисперсних частинок варто замкнути вікна, не виходити на вулицю та ввімкнути фільтри.

Причиною погіршення якості атмосферного повітря є не лише антропогенна діяльність. Природні фактори, такі як лісові пожежі, ерозійні процеси, виверження вулкану також можуть спричинити значне забруднення повітря. Варто зазначити, що зазвичай ці явища не масштабні, та відбуваються не регулярно на відміну від діяльності людини.

Необхідно посилювати контроль за можливими викидами підприємств та загальним станом атмосферного повітря, збільшувати фінансування природоохоронних заходів, стимулювати до оновлення застарілого обладнання, регулярно проводити еко-просвітницькі заходи щодо охорони повітря тощо [31, ст. 104].

РОЗДІЛ II. ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІН ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ФІТОІНДИКАЦІЙНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАНУ ХВОЙНИХ НАСАДЖЕНЬ

2.1. Структура хвойних насаджень моніторингових ділянок

Органи державної влади відповідальні за моніторинг довкілля та зобов'язані інформувати суспільство про наявність забруднюючих речовин, що перевищують допустимі концентрації. Стан навколишнього середовища, зокрема атмосферного повітря, водних ресурсів та ґрунтів міських територій має визначальне значення для здоров'я та загальної якості життя населення країни. Нерідко одним із методів моніторингу довкілля, що використовують для оцінки техногенного забруднення навколишнього середовища є біоіндикація. Метод ґрунтується на основі виявлення закономірностей між фізіологічними змінами поодиноких організмів чи їх угруповань у залежності від наявності забрудника.

Біоіндикація – це надійний та достовірний метод, який можна використовувати як окремий спосіб дослідження стану навколишнього середовища. Дослідження за допомогою тест-організмів можна проводити на всіх рівнях організації біосистеми, від молекулярного до біогеоценотичного. Рослини є одними з найбільш інформативних об'єктів дослідження в системі екомоніторингу. Вони прості у використанні, придатні для вирощування у штучних умовах, стабільні та економічно вигідні.

Фітоіндикація базується на основі вивчення впливу змінних екологічних факторів навколишнього середовища на різні характеристики рослинних організмів. Рослинні угруповання є невід'ємною частиною антропогенних ландшафтів, та для проведення досліджень можна використовувати як рослинні угруповання, так і окремі види рослин (рис. 2.1).

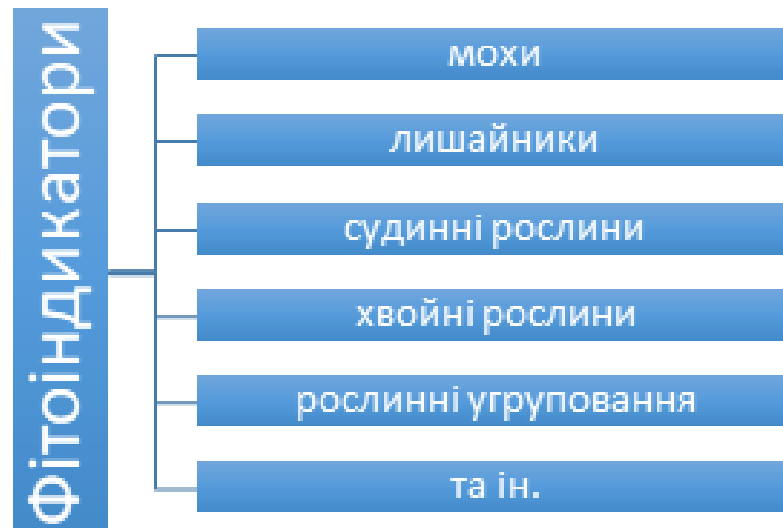


Рис. 2.1. Перелік найбільш поширених фітоіндикаторів стану навколишнього середовища

Міські екосистеми стикаються з усіма негативними факторами міст, зокрема зростанням загазовування довкілля, пилового забруднення, специфічними температурними умовами тощо. Таким чином можна досліджувати стан навколишнього середовища, що виник у результаті впливу певних чинників та оцінити потенційні ризики. Для проведення фітоіндикаційних досліджень науковець повинен володіти навичками підбору рослинних об'єктів, уміти науково обґрунтовано встановити кореляцію між наявністю певного забрудника та морфо-функціональними змінами міської флори. Важливо науково достовірно інтерпретувати отримані внаслідок візуального огляду дані. На основі отриманих результатів дослідження можна робити подальші прогнози та розробляти рекомендації щодо покращення екологічної ситуації міст [45, с. 161].

Більша частина лісів Земної кулі – майже 95 % складаються або лише з хвойних, або є мішаними. Хвойні дерева зустрічаються на шести з семи континентів і включають як широко поширені доміантні види, так і вузькі ендеміки. Попри доміантність у багатьох наземних ландшафтах, хвойні становлять менше ніж 0,3 % видового різноманіття сучасних наземних рослин [46, с. 61-62].

Хвойні культури використовуються як фітоіндикатори якості атмосферного повітря досить давно, адже вони є високочутливими до наявності перевищень допустимих концентрацій поллютантів, таких як діоксид сірки, азот, важкі метали тощо. Їхньою перевагою серед інших біоіндикаторів є те, що моніторинг можна проводити у будь-який сезон року.

За наявності забруднюючих речовин у довкіллі в хвойних насадженнях відбуваються різноманітні морфологічні реакції: дефоліація (опадання листя), некрози (відмирання кінчиків) та хлорози (пожовтіння) хвої, зменшення густоти крони та ін. Форма, довжина, забарвлення та ступінь пошкодження хвої – це легко вимірювальні кількісні характеристики, які можна використати для оцінки стану атмосферного повітря. На території м. Кременець найбільш поширеними хвойними представниками є такі роди як Туя (*Thuja*), Кипарисовик (*Chamaecyparis*), Сосна (*Pinus*), Ялина (*Picea*), Ялиця (*Abies*) та Ялівець (*Juniperus*).

Туя західна (*Thuja occidentalis* L.) – це вічнозелене морозостійке дерево або кущ, що може вирости до 20 метрів заввишки, проте у суворому кліматі стає низькорослим. За формою крони туя буває: колоновидна, пірамідальна, куляста. Зростає на різних типах ґрунту, але надає перевагу зволоженим, добре дренованим землям. У природному ареалі зустрічається на водно-болотних угіддях та вздовж берегів річок. Крона туї західної червонувато-коричневого кольору, гладка, в молодості пірамідальна, проте згодом набуває сірувато-коричневого кольору та лушиться довгими смужками в міру дозрівання. Листя плоске та лускоподібне, зеленого кольору, а взимку може набувати теплого бронзового відтінку. Шишки в туї круглі, коричневого кольору, та з довжиною близько 0,5 дюйма [47, с. 20]. Завдяки густій формі росту туї часто використовують у якості живоplotів та вітрозахисних смуг.

Ялина європейська (*Picea abies* (L.) Karst.) – це велике вічнозелене дерево пірамідальної форми, що виростає до 30 м заввишки. Надає перевагу вологим, добре дренованим типам ґрунту, наприклад, суглинковому та супіщаному. Ялина європейська – морозостійка, світлолюбна та не вибаглива рослина. Крона

у даного виду гладка, сіро-коричнева в молодому віці, а з часом потовщується та перетворюється на сіро-коричневі лусочки. Пагони оранжево-коричневі, листя голкоподібне, з довжиною від 12 до 25 мм. Шишки в ялини коричневі, циліндричні з гостро трикутними кінчиками лусочок, близько 10-15 см довжиною [48]. Вид погано адаптовується до змін клімату, не переносить задимленість та загазованість повітря.

Ялівець козацький (*Juniperus communis* L.) – це повільнозростаюче невелике дерево або чагарник висотою до 5 м. Вид не вимогливий до родючості ґрунту та посухостійкий. Його крона сіро-коричнева та гладка, проте з віком лущиться і стає червонувато-коричневою. Хвоя в ялівця козацького зелена, голкоподібна, дрібна. Вид часто використовується для озеленення та складання садово-паркових композицій.

Кипарисовик Лавсона (*Chamaecyparis lawsoniana* S.) – це вічнозелене дерево колоноподібної форми, яке може сягати 40-45 м заввишки. Вид надає перевагу нейтральним та слабокислим ґрунтам, водночас не переносить лужні та заболочені. Листя в кипарисовика коротке, супротивне та лускоподібне, щільно скріплене між собою, а гілочки сплюснені. Шишки в кипарисовика маленькі – 7-8 мм завдовжки, червонуватого кольору, а коли дозрівають стають жовто-коричневими. Стовбур із віком розгалужується, а кора розтріскується на вертикальні пластини [50]. Завдяки привабливому зовнішньому вигляду, кипарисовик лавсона широко використовується в ландшафтному дизайні для озеленення парків.

Згідно з наведеної вище фітоіндикаційної характеристики хвойних насаджень, що зростають на дослідних ділянках та проведених моніторингових досліджень можна виокремити певні патерни щодо диференційованого антропогенного навантаження м. Кременець та відповідних реакцій різних видів класу *Coniferae*. Отримані дані щодо відмінності стійкості та специфічних реакцій хвойних порід занесено в табл. 2.1.

Хвойні види рослин досить чутливі до перевищення в атмосферному повітрі концентрації діоксиду сірки та оксидів азоту. Ці забруднювачі

депонуючи з повітря на листя рослин, можуть безпосередньо поглинатися, викликаючи дефоліацію, хлорози та некрози. Також із опадами речовини з гілочок потрапляють у ґрунт, викликаючи його підкислення [51].

Таблиця 2.1.

Фітоіндикаційні властивості хвойних насаджень дослідних ділянок

Параметр	Туя західна (<i>Thuja occidentalis</i> L.)	Ялина європейська (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.)	Ялівець козацький (<i>Juniperus communis</i> L.)	Кипарисовик лавсона (<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> S.)
Загальна стійкість до атмосферного забруднення	Середня. Має високу толерантність до пилу та диму. Чутлива до забруднення повітря SO ₂ та іншими шкідливими речовинами.	Низька. Чутлива до перевищень ГДК SO ₂ . Із огляду на тривалість онтогенезу хвої (5-7 років) вразлива до накопичення забруднювачів, зокрема пилу.	Висока. Найбільш стійкий до забруднення повітря серед цієї групи.	Низька. Чутливий до сухості повітря та сильного забруднення. Менш витривалий ніж туя та ялівець, особливо в посушливих умовах.
Основний фітоіндикаційний симптом	Некрози та передчасне опадання лускоподібної хвої. Низька галочутливість (солестійкість) ґрунту, що проявляється хлорозом взимку.	Опадання хвоїнок, що молодші за п'ять років. Некрози, фториди та погіршення морфометричних показників.	Знебарвлення хвої до жовто-бурого кольору. Пригнічення росту пагонів.	Побуріння та засихання пагонів (починаючи від кінчиків). Загальне пригнічення крони та її розрідження.

Хвойні рослини, що зростають у підкисленому ґрунті, зазнають вторинних пошкоджень. Це проявляється у зміні зовнішніх ознак, що наведені вище. Хвоя також діє як біоіндикатор завдяки змінному хімічному складу дрібнодисперсних твердих частинок. Видами з найбільшим потенціалом утримання твердих частинок є туя західна та сосна звичайна, де осілі частинки можуть становити 0,33 % від загальної маси хвойного листя [52].

2.2. Обґрунтування вибору дослідних ділянок та методика проведення фітоіндикаційного аналізу стану атмосферного повітря

Із метою проведення фітоіндикаційних досліджень якості атмосферного повітря м. Кременець за допомогою хвойних насаджень було вибрано три репрезентативні моніторингові ділянки з диференційованим антропогенним навантаженням. На обраних дослідних майданчиках зростають схожі штучні хвойні насадження, що можна використати в якості фітоіндикаторів стану повітря, зокрема це туя західна (*Thuja occidentalis L.*), ялина європейська (*Picea abies (L.) Karst.*), ялівець козацький (*Juniperus communis L.*) та кипарисовик лавсона (*Chamaecyparis lawsoniana S.*).

Досліджувані моніторингові ділянки характеризуються чітко вираженими рівнями концентрації забруднюючих речовин. Так, перша моніторингова ділянка (зі значним антропогенним навантаженням) знаходиться біля вантажної залізничної станції та автомагістралі. Друга дослідна ділянка (із проміжним рівнем) знаходиться обабіч центральної дороги з інтенсивним рухом автомобільного транспорту. Третя моніторингова ділянка (зі слабким рівнем антропогенного навантаження) розташована на території Кременецького ботанічного саду, де рух автотранспорту обмежено.

Перша моніторингова ділянка розташована в рівнинній частині м. Кременець безпосередньо біля вузлової вантажної залізничної станції Рівненської дирекції Львівської залізниці та магістральної автомобільної дороги – автошляху національного значення НО2, повз який проходить транзитний рух великовагового вантажного автотранспорту. Це дослідний майданчик зі значним рівнем антропогенного навантаження в місті. Моніторингова ділянка знаходиться у сквері Полкової церкви по вул. Симона Петлюри, 2А (координати: 50.120162, 25.708396). Розміри моніторингової ділянки характеризуються такими параметрами: довжина – 40 м, ширина – 33 м (Рис. 2.2).

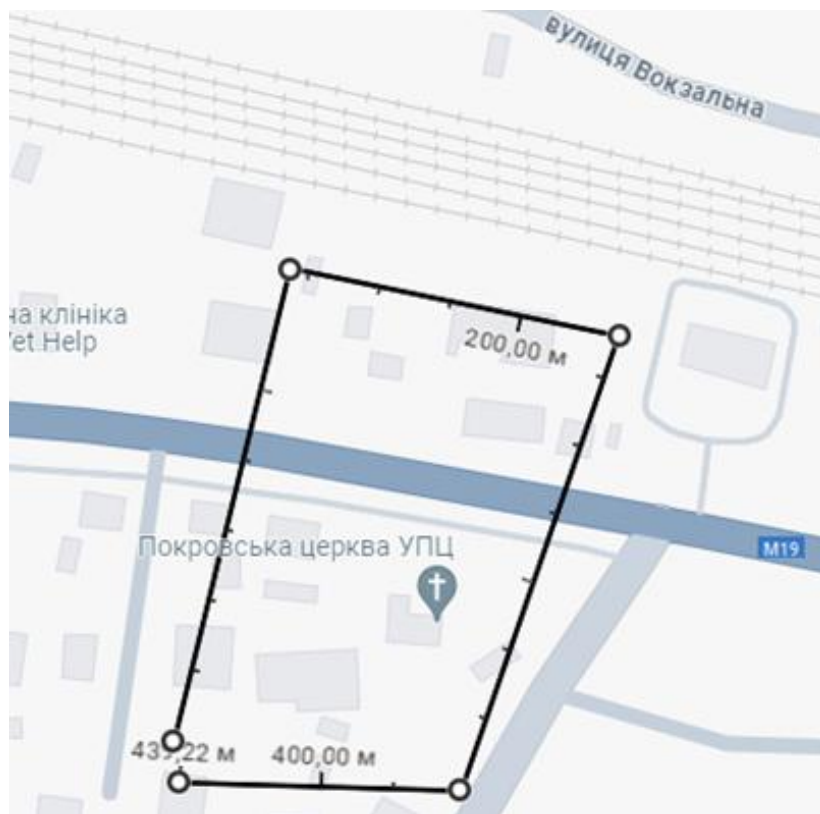


Рис. 2.2. Схема моніторингової ділянки зі значним рівнем антропогенного навантаження

Друга моніторингова ділянка знаходиться між Кременецькими горами в низинній частині середмістя поруч із центральною дорогою з автомобільним трафіком середньої інтенсивності. Це дослідний майданчик із проміжним рівнем антропогенного навантаження. Хвойні насадження другої досліджуваної ділянки зазнають хронічного екофізіологічного стресу в зв'язку з токсичною дією аерозольних та газоподібних викидів від автомобільних двигунів внутрішнього згорання. Дослідний майданчик розташований біля меморіалу вшанування українських Героїв на стику вул. Медової та пров. Ліцейного (координати: 50.096109, 25.725242). Моніторингова ділянка має наступні лінійні розміри: довжина – 50 м, ширина – 100 м (Рис. 2.3).

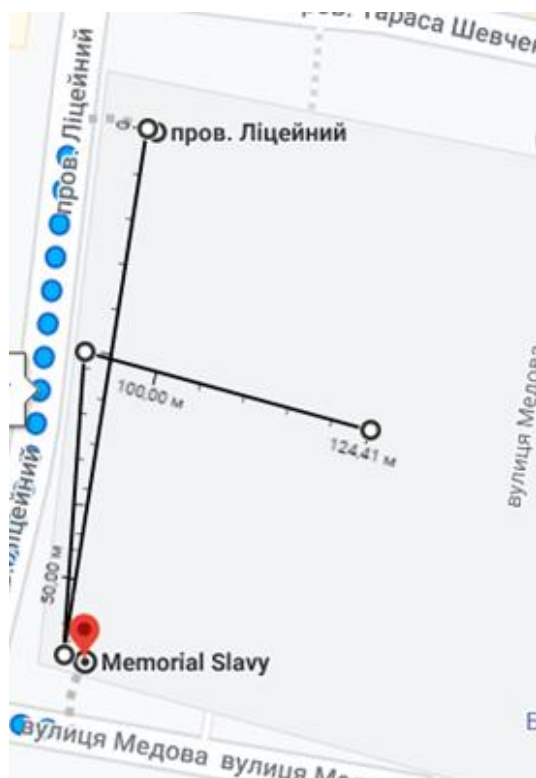


Рис. 2.3. Схема моніторингової ділянки з проміжним рівнем антропогенного навантаження

Третя моніторингова ділянка розташована на міських схилах в центральному ядрі м. Кременець в районі з мінімальним антропогенним навантаженням. Це територія Ботанічного саду загальнодержавного значення з обмеженим рухом автомобільного транспорту та відповідно з незабудованою територією. Хвойні насадження, що зростають на даній дослідній ділянці піддаються мінімальному антропогенному тиску. Варто зазначити, що дерева періодично обрізаються для підтримання естетично привабливого вигляду, й це спричиняє у рослин стрес. Дана моніторингова ділянка знаходиться поблизу провулку Ботанічного (координати: 50.096382, 25.720015). Розміри дослідної ділянки характеризуються такими параметрами: довжина – 20 м, ширина – 47 м (Рис. 2.4).



Рис. 2.4. Схема моніторингової ділянки зі слабким рівнем антропогенного навантаження

Хвойні дерева мають здатність поглинати як газоподібні, так і тверді частинки в повітрі, що робить їх корисними в якості природних біоіндикаторів та біофільтрів атмосферних забруднювачів. Фітоіндикація проводиться на основі зовнішньої характеристики хвойних дерев, зокрема наявності хлорозів, некрозів, зміни форми чи кольору хвої, пошкодження стовбуру, витончення крони, приросту тощо. Хвойні насадження чутливі до певних атмосферних забруднювачів, тож ознаки, вказані вище служать індикаторами рівня та типів забруднення навколишнього середовища.

Для оцінки екологічного стану хвойних насаджень існують різноманітні шкали оцінки впливу факторів навколишнього середовища. На державному рівні в Україні затверджено категорії стану дерев, що базуються на видимих ознаках пошкодження та ослаблення крони. Шкала наведена у додатку 3 «Санітарних правил в лісах України» (табл. 2.2.) [53]. Категорії стану дерев було затверджено в редакції постанови № 555 Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2016 р. № 756.

Таблиця 2.2.

Класифікація хвойних насаджень згідно категорій санітарного стану [53]

Категорія стану дерев	Ознаки стану дерев
I – без ознак ослаблення	Крона густа, хвоя зелена, срібляста; приріст поточного року нормального розміру для даної породи, віку, сезону і умов місцезростання: стовбури і кореневі лапи не мають зовнішніх ознак пошкодження
II – ослаблені	Крона ажурна, хвоя зелена, світло-зелена або обпечена не більш як на 1/3, приріст зменшений не більше як на 1/2, всихання окремих гілок, пошкодження окремих коренових лап, місцеве пошкодження стовбура
III – дуже ослаблені	Крона дуже ажурна, хвоя блідо-зелена або матова, чи обпечена більше як на 1/3; приріст дуже слабкий, всихання до 2/3 крони, пошкодження коренових лап або стовбура до 2/3 периметра, спроба заселення або місцеве заселення стовбурних шкідників, плодові тіла та інші ознаки діяльності дерево руйнівних грибів на стовбурі та коренових лапах
IV – відмираючі	Крона дуже ажурна, хвоя жовтувата або жовто-зелена, осипається; приріст дуже слабкий або зовсім немає, всихання більш як 2/3 гілок, пошкодження стовбура і коренових лап більш як 2/3 периметра, ознаки заселення стовбуровими шкідниками
V – свіжий сухостій	Хвоя сіра, жовта або червоно-бура, частково осипається, часткове опадання кори, заселені або відпрацьовані стовбуровими шкідниками
VI – старий сухостій	Жива хвоя відсутня, кора і маленькі гілочки осипаються частково або зовсім, під корою грибниця дерево руйнівних грибів [53].

Фітоіндикація за допомогою хвойних деревних порід, віднесених до певних категорій санітарного стану, базується на видимих ознаках пошкодження та ослаблення хвої, крони, гілок та стовбура (табл. 2.2). У шкалі, представленій у таблиці (згідно санітарних правил в лісах України), наведено категорії стану дерев. Так, під час проведення досліджень виявляються дендрометричні та критерії якості кожної особини, що зростає на дослідній ділянці. Кожне дерево було нами класифіковано згідно шкали до певної категорії стану (табл. 2.2). Використовувалися наступні категорії стану дерев:

- I категорія – без зовнішніх ознак ослаблення;
- II категорія – незначні ознаки ослаблення дерев;
- III категорія – уражено 2/3 крони чи стовбура рослини;

- IV категорія – відмираюче дерево з пошкодженнями більше 2/3 периметра;
- V категорія – особина, що засохла в цьому році;
- VI категорія – давній сухостій [53].

Проведення моніторингових досліджень із використанням візуального огляду хвойних рослин допомагає оцінити вплив факторів навколишнього середовища (в тому числі й забрудників атмосферного повітря). Використання категорій санітарного стану дерев – це простий та практичний інструмент для виявлення впливу екологічних чинників на хвойні насадження.

2.3. Оцінка та порівняння стану атмосферного повітря на трьох дослідних ділянках у 2023-2025 рр.

Для проведення оцінки якості атмосферного повітря за допомогою хвойних насаджень використовувався метод візуального обстеження кожної особини моніторингової ділянки. Дослідження на трьох дослідних ділянках здійснювалися у 2023 та 2025 рр. Проводився детальний огляд кожного дерева з подальшою класифікацією до відповідної категорії санітарного стану (згідно табл. 2.2 Класифікація хвойних насаджень згідно категорій санітарного стану). Повторний огляд змін зовнішніх ознак хвойних насаджень дослідних ділянок дозволяє отримати дані про актуальний стан якості повітря та виявити певні зміни (часткове очищення чи збільшення забруднення).

2.3.1. Оцінка та порівняння змін стану хвойних рослин на ділянці зі значним рівнем забруднення у 2023-2025 рр.

Для проведення фітомоніторингу стану хвойних рослин, що зростають на території зі значним рівнем антропогенного навантаження було вибрано ділянку за адресою: вул. Симона Петлюри, 2А (за координатами: 50.120162, 25.708396). Дана моніторингова ділянка простягається повз вантажну залізничну станцію та знаходиться обабіч автомагістральної дороги. Частина дослідної ділянки

знаходиться у сквері Полкової церкви. Карту з умовними позначеннями наведено на рис. 2.5.



Рис. 2.5. Карта-схема ділянки зі значним рівнем забруднення

На обраній дослідній ділянці у 2023 році зросло 45 особин хвойних рослин (табл. 2.3). У 2023 році на моніторинговій ділянці у сквері Полкової церкви було насаджено туї західні пірамідальної форми. У 2025 році нових саджанців хвойних рослин насаджено не було.

Таблиця 2.3.

Видова різноманітність хвойних насаджень моніторингової ділянки зі значним рівнем забруднення повітря

Назва виду	Латинська назва	К-сть особин
Туя західна (пірамідальна)	<i>Thuja occidentalis Piramides</i>	20
Туя західна (колоновидна)	<i>Thuja occidentalis Columna</i>	12
Ялівець козацький	<i>Juniperus sabina</i>	6
Ялина європейська	<i>Picea abies</i>	7

На моніторинговій ділянці зі значним рівнем забруднення зростає 32 дерева туї західної. Зокрема серед них (згідно табл. 2.3): 20 рослин колоновидної форми, та 12 – пірамідальної [54]. Візуальний стан усіх представників туї був

дуже пригніченим, особливо в рослин, що зростали обабіч автомагістральної дороги та залізничного вокзалу.

На дослідній ділянці спостерігалось суттєве зниження життєздатності представників туї колоновидної. Згідно досліджень, проведених у 2023 році:

- До III категорії належало дев'ять рослин (55 %). Вони були значно ослаблені, із опіками та хлорозами хвої ближче до стовбура;
- До IV категорії віднесено одинадцять представників (45 %). Їх крона ажурна, були наявні ознаки дефоліації хвої та висихання гілкової системи (ДОДАТОК Б1) [54].

За результатами візуального обстеження туї пірамідальної, у 2023 році:

- До II категорії належав один представник, адже значних пошкоджень виявлено не було;
- До III категорії було віднесено п'ять особин (40 %). Їх крона дуже ажурна, наявні некрози та хлорози хвої та нижні гілочки були відмерлі;
- До IV категорії належали шість рослин (60 %). У них була розріджена крона внаслідок дефоліації хвої (ДОДАТОК Б1) [54].

Згідно результатів досліджень, отриманих у 2023 році, розподіл 32 представників туї західної був наступним: до IV категорії санітарного стану належали сімнадцять рослин (53 %), до III – чотирнадцять (44 %), до II – одна [54]. Згідно досліджень проведених у 2025 році візуальний стан усіх насаджень туї західної, що зростають на даній території не змінився, та дерев, що варто було віднести до іншої категорії не було.

Згідно табл. 2.4. моніторинговій ділянці зростає 7 дерев ялини європейської. Згідно даних, отриманих в результаті дослідження у 2023 році:

- До III категорії належали три рослини (40 %). Їхня хвоя була блідо-зелена, а крона дуже ажурна;
- До IV категорії – чотири особини (60 %). У них крона була розріджена, хвоя жовтувата та осипалася, нижня частина стовбурів була дещо пошкоджена (ДОДАТОК Б2) [54].

У 2025 році ситуація з представниками даного виду залишилася такою ж, як під час попередніх досліджень.

Усі шість особин ялівцю козацького у 2023 році були віднесені до II категорії, адже зафіксовано пожовклі хвоїнки та поодинокі всохлі гілки (ДОДАТОК Б3) [54]. У 2025 році п'ять особин ялівцю належали до II категорії, та ще один до III категорії, так як його стан був дещо пригніченим у порівнянні з даними, отриманими у 2023 році.

Згідно візуальних досліджень у 2023 році з 45 представників хвойних на території зі значним рівнем забруднення: 21 особина (47 %) належали до IV категорії – відмираючі, 17 рослин (38 %) – до III категорії – дуже ослаблені, ще 7 (15 %) – до II категорії – ослаблені (рис. 2.6.).

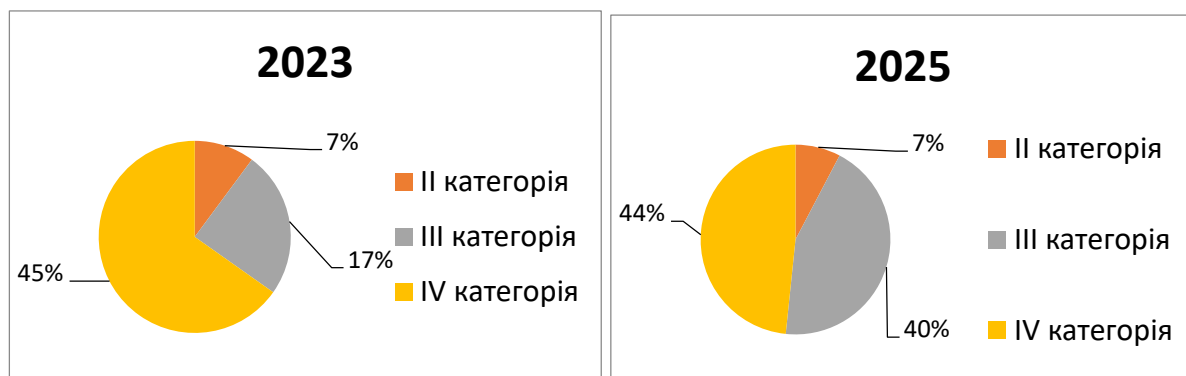


Рис. 2.6. Співвідношення санітарного стану хвойних у 2023 та 2025 рр. моніторингової ділянки зі значним рівнем забруднення повітря

У 2025 році ситуація суттєво не змінилася: 20 особин (44 %) належали до IV категорії – відмираючі, 18 рослин (40 %) – до III категорії – дуже ослаблені, ще 7 (16 %) – до II категорії, тобто ослаблені (рис 2.4.). Варто зазначити, що хвойних, що можна було б віднести до I категорії, на даній території ні в 2023, ні у 2025 знайдено не було.

2.3.2. Аналіз та порівняння змін стану хвойних рослин на ділянці з проміжним рівнем антропогенного навантаження (територія меморіалу) у 2023-2025 рр.

Фітомоніторинг зони з середнім рівнем антропогенного навантаження проведено на території центральної частини м. Кременець на стику вул. Медової та пров. Ліцейного (за координатами: 50.09623486263204, 25.725110709481623). Дана дослідна ділянка розташована біля Меморіалу вшанування українських Героїв у центрі міста, біля дороги. Місто оточене з двох сторін горами, у зв'язку з чим прямі потоки повітря можуть переносити аерозольні забруднювачі. Карту з умовними позначеннями розташування хвойних рослин та можливих забруднювачів наведено на рис. 2.7.

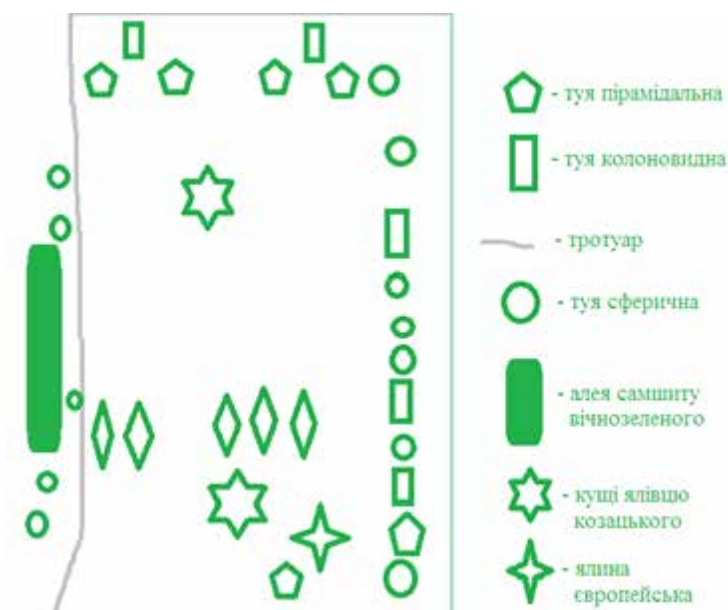


Рис. 2.7. Карта-схема ділянки з проміжним забрудненням

Таблиця 2.4.

Видова різноманітність хвойних насаджень моніторингової ділянки з проміжним рівнем забруднення атмосферного повітря

Назва виду	Латинська назва	К-сть особин
Туя західна (сферична)	<i>Thuja occidentalis</i>	12
Туя західна (пірамідальна)	<i>Thuja occidentalis Piramides</i>	6
Туя західна (колоновидна)	<i>Thuja occidentalis Columna</i>	5
Кипарисовик Лавсона	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	5
Ялівець козацький	<i>Juniperus sabina</i>	2
Ялина європейська	<i>Picea abies</i>	1

Згідно табл. 2.4. на дослідній ділянці зростає 23 особини туї західних, серед яких 12 – сферичної форми, 6 – пірамідальної та 5 – колоновидної [55].

Згідно даних, отриманих у 2023 році, серед 12 особин туї західної сферичної форми:

- До III категорії належало п'ять рослин (40 %), адже хвоя була значно обпечена ззовні та дерева виглядали дуже ослабленими;
- До II категорії віднесено сім особин (60 %), адже у них спостерігалися ажурна крона, висихання окремих гілок та місцеве пошкодження гілок (ДОДАТОК В1) [55].

У 2025 році ситуація дещо покращилася: вісім рослин (67 %) належали до II категорії, та чотири до III (33 %). Візуальний стан виду набув незначного поліпшення, проте все ще можна спостерігати обпечені кінці хвої (ДОДАТОК В1).

У 2023 році серед шести дерев туї пірамідальної чотири належали до I категорії, та два (35 %) до II категорії, адже у них спостерігалися помітні пошкодження окремих гілочок та ажурна крона (ДОДАТОК В1) [55]. У 2025 році ситуація зі станом даних рослин залишилася такою ж.

Згідно візуальних досліджень, отриманих у 2023 році серед п'яти дерев туї колоновидної форми:

- До III категорії належало одне дерево (20 %). Його крона дуже ажурна, пррїст слабкий, а стовбур пошкоджено більш ніж на 2/3 периметра;
- До II категорії віднесено також одне дерево (20 %), адже спостерігалось всихання окремих гілок.
- До I категорії належали три особини (60 %), так як візуально їх стан був задовільним (ДОДАТОК В1) [55].

Згідно досліджень, проведених у 2025 році, дерево туї колоновидної, що у 2023 році було віднесено до III категорії (через наявні ушкодження) частково відновилося. Усе ще наявні пошкодження, проте дерево вже можна віднести до II категорії. Інші дерева залишилися без суттєвих змін.

За результатами обстеження, проведеного у 2023, серед 23 представників туї західної сім належали до I категорії (30 %), десять до II категорії (24 %), адже були наявні хлорози та некрози, ще шість – до III категорії (26 %) [55]. У 2025 році ситуація з туями на дослідній ділянці з проміжним рівнем забруднення дещо змінилася: до I категорії також належить сім рослин, проте до II категорії можна віднести дванадцять, а до III – чотири особини.

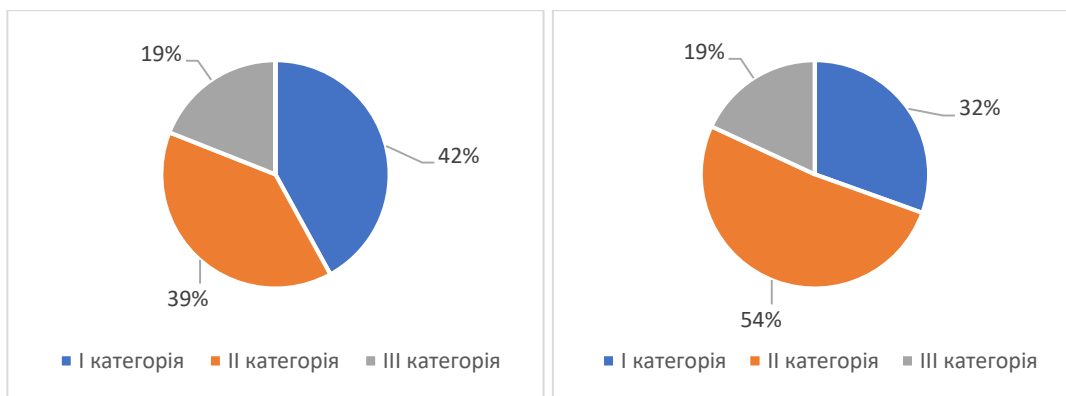
У 2023 році серед п'яти особин кипарисовика лавсона (табл. 2.4) три належали до I категорії – без ознак ослаблення, та ще два до II категорії – ослаблені, адже спостерігалось місцеве пошкодження стовбура та всихання окремих гілок (ДОДАТОК В2) [55]. У 2025 році візуальний стан кипарисовика покращився, проте недостатньо для зміни категорії.

У 2023 році два кущі ялівцю козацького, що зростали на ділянці були віднесені до II категорії – ослаблені, адже мали зменшений приріст на 1/3 та фіксувалося всихання окремих гілок (ДОДАТОК В3) [55]. У 2023 ситуація не змінилася, але на одному з представників ялівцю з'явився павутинний кліщ.

Як у 2023, так і в 2025 році представника ялини європейської зараховано до II категорії, адже його крона ажурна, наявні пошкодження поодиноких гілок та стовбура. Дерево зростає обабіч дороги, що впливає на значний вплив дрібнодисперсних частинок вихлопних газів транспорту (ДОДАТОК В4).

Згідно проведених досліджень у 2023 році з 31 представника хвойних на території з проміжним рівнем антропогенного навантаження: десять особин (32 %) належали до I категорії – без ознак ослаблень, п'ятнадцять (49 %) – до II категорії – ослаблені, та ще шість (19 %) – до III категорії – дуже ослаблені (рис. 2.8.).

У 2025 році ситуація дещо покращилася, адже серед 31 представника: десять (32 %) віднесено до I категорії – без ознак ослаблення, сімнадцять (54 %) до II категорії – ослаблені, та ще чотири (14 %) – до III категорії – дуже ослаблені (рис. 2.8.).



2.5. Співвідношення санітарного стану хвойних у 2023 р. (а) та 2025 р. (б) моніторингової ділянки з проміжним рівнем забруднення повітря

Усі види рослин (проте не всі представники), що зростають на ділянці (кипарисовик лавсона, ялина європейська, ялівець козацький, туя західна) мали хлорози та некрози, що вказує на наявність забруднення атмосферного повітря. У 2025 році ситуація з станом насаджень покращилася, що може вказувати на те, що стан повітря в центрі міста дещо покращився, що дало змогу деяким хвойним відновитися.

2.3.3. Оцінка та порівняння змін стану атмосферного повітря на ділянці зі слабким рівнем забруднення (територія Кременецького ботанічного саду) в 2023-2025 рр.

Фітомоніторинг на території зі слабким рівнем забруднення атмосферного повітря проведено на території кременецького ботанічного саду. Моніторинговий майданчик розташовано поблизу пров. Ботанічного (за координатами: 50.096390, 25.720015). Дослідна ділянка розташована в центральній частині м. Кременець на схилах гір. На низьке антропогенне навантаження вказують: відсутність забудов та незначна кількість автомобільного транспорту в межах території кременецького ботанічного саду. Карту з умовними позначеннями території наведено на рис. 2.9.



Рис. 2.9. Карта-схема хвойних насаджень ділянки зі слабким антропогенним навантаженням

У 2023 році на дослідній ділянці зі слабким рівнем забруднення зростав 41 представник хвойних рослин (ДОДАТОК Д1). За перерахунком, проведеним у 2025 році, усі особини зберегли свою локалізацію та динаміку росту. Відбулися незначні зміни у зовнішньому вигляді туй західних у зв'язку з декоративним формуванням крони штучних насаджень. Незважаючи на це їх можна використовувати для виявлення часових та просторових тенденцій щодо зміни стану атмосферного повітря на території з низьким антропогенним навантаженням. Інформацію щодо кількості наявних видів хвойних рослин наведено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5.

Видове різноманіття хвойних рослин моніторингової ділянки зі слабким рівнем антропогенного навантаження

Назва виду	Латинська назва	К-сть особин
Туя західна (сорт «холмстрап йелоу»)	<i>Thuja occidentalis</i> (« <i>Holmstrup Yellow</i> »)	6
Туя західна (бордюрна)	<i>Thuja occidentalis</i>	12
Туя західна (колоновидна)	<i>Thuja occidentalis Columna</i>	9
Туя західна (пірамідальна)	<i>Thuja occidentalis Piramides</i>	8
Ялівець козацький	<i>J. sabina</i>	2
Ялина європейська	<i>Picea abies</i>	2
Ялівець козацький	<i>Juniperus sabina</i>	2

На дослідній ділянці зі слабким рівнем забруднення зростає 35 представників туї західної, серед яких: 6 особин сорту «холмстрап йелоу», 12 особин бордюрної форми, 9 – колоновидної, 8 – пірамідальної (табл. 2.5).

У 2023 році серед 12 особин туї західної бордюрної форми шість рослин належали до II категорії (ослаблені), адже спостерігалися лише незначні (ДОДАТОК Д2). Ще шість кущів було віднесено до I категорії – без ознак ослаблення.

Згідно візуального огляду в 2025 році, ситуація зі станом туй західних бордюрної форми значно покращилася, враховуючи, що пройшло лише 2 роки. Так, до II категорії віднесено п'ять насаджень, адже їх приріст був дещо зменшений, та хвоя дещо обпечена. До I категорії – без ознак ослаблення належать сім особин.

На дослідній ділянці зростає дев'ять дерев туї колоновидної, серед яких у 2023 році шість рослин було віднесено до I категорії – без зовнішніх ознак ослаблення, та ще три – до II категорії, оскільки фіксувалося пошкодження окремих кореневих лап та світло-зелене забарвлення хвої. У 2025 році до I категорії зараховано сім рослин, а до II – дві, адже все ще спостерігалося висихання гілок та хлорози хвої.

Згідно візуального огляду в 2023-2025 рр., значних змін у восьми дерев туї пірамідальної зафіксовано не було. Більша частина – шість особин належать до I категорії – без ознак ослаблення, ще дві належали до II категорії, адже крона ажурна, а хвоя обпечена не більше ніж на 1/3 (ДОДАТОК Д2).

У шести дерев туї сорту «холмстрап йелоу» значних відмінностей у 2025 році (в порівнянні з даними 2023 року) у морфологічному стані не відзначено. Дві особини (50 %) віднесено до I категорії, адже ознак ослаблення виявлено не було, іншу половину особин віднесено до II категорії, так як приріст був дещо зменшений, а деякі гілки всохлися (ДОДАТОК Д2). Варто відзначити, що сорт має жовте забарвлення хвої.

Насадження ялівцю козацького зростають поміж інших рослин (ДОДАТОК Д1). У 2023 році половина особин належали до I категорії, а інша половина – до II, адже крона ажурна, хвоя обпечена та окремі гілки пошкоджені. Таке розмежування пов’язане з наявністю хлорозів хвої. Згідно досліджень 2025 року, стан рослин покращився: обидва представники можна віднести до I категорії – без ознак ослаблення.

Два дерева ялини європейської як у 2023, так і в 2025 рр. віднесено до I категорії – без ознак пошкодження.

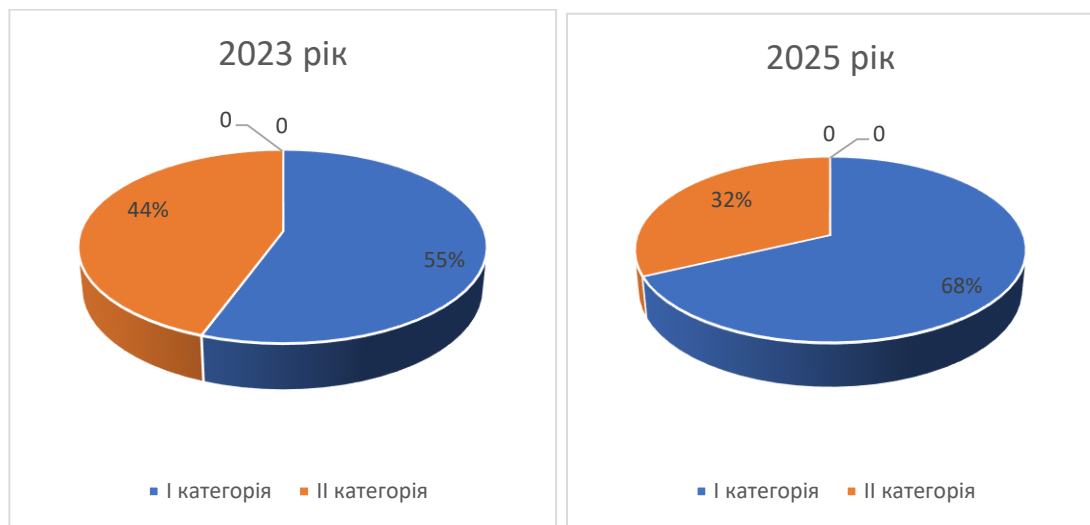


Рис. 2.10. Порівняння змін стану хвойних (у 2023 та 2025 рр.) моніторингової ділянки зі слабким рівнем антропогенного навантаження

Якщо підсумувати отримані у 2023 році дані щодо стану хвойних рослин на моніторинговій ділянці зі слабким рівнем забруднення, серед 41 представника 28 зараховано до I категорії, та 13 – до II відповідно. Згідно досліджень, проведених у 2025 році серед 41 представника: 30 насаджень (68 %) віднесено до I категорії, та 11 (32 %) – до II категорії. Варто зазначити, що ні у 2023, ні в 2025 рр. на моніторинговій ділянці не виявлено хвойних зі значними ознаками пошкоджень (що належали б до III - IV категорії). Дана тенденція вказує на покращення якості навколишніх умов у м. Кременець (на території ботанічного саду).

2.4. Залежність рівня забруднення атмосферного повітря та морфологічних змін хвойних насаджень

Існує пряма кореляція між морфологічним станом хвойних рослин та концентрацією атмосферних забруднювачів (SO_2 , NO_x , $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10}). Хвойні породи – чудові фітоіндикатори, що пов'язано з тривалістю життя хвої (від 2 до 7 років) та чутливістю хвої до поллютантів. Кумуляція забрудників позначається на візуальному стані насаджень, тож можна ефективно визначити наявність певних речовин в довкіллі.

Згідно результатів фітоіндикаційних досліджень м. Кременець упродовж 2023-2025 рр., на дослідній ділянці зі значним рівнем антропогенного навантаження, частка хвойних дерев, віднесених до III-IV категорії санітарного стану залишилася критично високою (понад 80 %). Це свідчить про хронічний токсичний вплив аерополлютантів. Ймовірно джерелами є вантажна залізнична станція та автомагістраль. Наявність хлорозів, некрозів, дефоліації хвої та ознак пригнічення життєвих процесів хвойних підтверджує присутність у атмосферному повітрі значних концентрацій дрібнодисперсних частинок, оксидів азоту, сірки та продуктів згорання палива.

Територія центральної частини міста має помірний рівень забруднення. Джерелом забруднюючих частинок в атмосферному повітря міста є автомобільні двигуни внутрішнього згорання. Так, у 2023 році домінували хвойні рослини II категорії (49 %), у той час як частка дерев III категорії становила 19 %. У 2025 році зафіксовано помірне покращення санітарного стану насаджень, що проявлялося у зменшенні частки дуже ослаблених рослин. Отримані результати вказують на часткове зниження токсикантів, ймовірно, зумовлене зміною інтенсивності руху та покращенням метеорологічних умов. Водночас наявність хлорозів та некрозів у частини фітоіндикаторів свідчить, що атмосферне повітря м. Кременець продовжує зазнавати помірного техногенного навантаження.

Фітомоніторинг ділянки м. Кременець зі слабким рівнем антропогенного навантаження показав високу якість атмосферного повітря, що напряду пов'язано з домінуванням дерев I категорії санітарного стану, у яких не

відзначалося візуальних пошкоджень. Відсутність рослин III-IV категорій санітарного стану рослин (як у 2023, так і в 2025 рр.) та мінімальна кількість особин з ознаками відхилення від нормального фізіологічного стану вказує на низькі концентрації забруднюючих речовин та переважання природних умов для самовідновлення хвойних та самоочищення атмосфери. Незначні зміни вигляду окремих туй були обумовлені обрізанням з декоративними цілями, а не дією шкідливих речовин. Отримані дані дають підстави стверджувати, що на території ботанічного саду фонова якість атмосферного повітря.

У 2023-2025 рр. найвищий рівень деградації хвойних насаджень характерний для дослідної ділянки, що знаходиться поміж автомагістральною дорогою та залізничною станцією. На ділянці біля центральної дороги спостерігається часткове покращення стану рослин, що може бути пов'язане з тим, що стан атмосферного повітря не погіршився, що й дало змогу деяким представникам хвойних відновитися. На території ботанічного саду якість повітря залишається стабільно високою, а зміни у стані рослин є несуттєвими, без ознак забруднення атмосферного повітря ділянки. Необхідно проводити подальший моніторинг задля виявлення певних тенденцій щодо змін хвойних насаджень м. Кременець та стану атмосферного повітря.

РОЗДІЛ III. ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ М. КРЕМЕНЕЦЬ

Для вимірювання показників якості повітря використовувалися:

- аналізатор якості повітря SEM DT-9881 (ДОДАТОК E1);
- мультигазовий детектор WALCOM MGD-04 (ДОДАТОК E2).

Так, за допомогою аналізатору SEM DT-9881 можна визначити: NO₂ – діоксид азоту, CH₄ – метан, SO₂ – діоксид сірки, CO₂ – діоксид вуглецю. Мультигазовий детектор показує такі дані, як: NH₃ – аміак, H₂S – сірководень, O₃ – озон, а також CO₂ – діоксид вуглецю.

Вимірювання проводилися на таких дослідних ділянках, як: автостанція, вантажний залізничний вокзал, меморіал (центр міста), г. Бона, ботанічний сад та територія вищого навального закладу (КОГПА).

3.1. Стан атмосферного повітря моніторингових ділянок м. Кременець згідно даних аналізаторів повітря

Вимірювання за допомогою аналізаторів якості повітря у м. Кременець проводилися протягом трьох тижнів у зимовий та літній періоди. Так, грудень характеризувався стійкими температурними інверсіями, поривами холодних вітрів (ДОДАТОК А) та високою ймовірністю акумуляції забруднювачів. У літній період рівень забруднення був дуже низьким, водночас спостерігався температурний режим сприятливий для підвищень концентрації озону в атмосферному повітрі.

Під час вимірювань більшість речовин у повітрі м. Кременець зафіксовано не було, проте були наявні такі компоненти, як:

- SO₂, джерелами якого, ймовірно було спалювання палива та дизельних двигунів;
- CO₂, що концентрується в зонах, наближених до доріг;
- NH₃, що є продуктом дизельних двигунів;
- O₃, що є вторинним фотохімічним забруднювачем.

Вимірювання здійснювалися у шести типах локацій задля отримання достовірних даних та формування просторової карти забруднень міста:

- Ботанічний сад – це фонова дослідна ділянка;
- Автостанція – це зона з інтенсивним автомобільним рухом;
- Залізничний вокзал – це місцевість із активною транспортною інфраструктурою.
- Меморіал, г. Бона та територія Кременецької обласної гуманітарно-педагогічної академії ім. Тараса Шевченка (КОГПА) – це міські транспортно-пішохідні зони.

Діоксид сірки (SO_2) на території м. Кременець був зафіксований у діапазоні 0,1-1,5 мг/м³ (ДОДАТОК Е). Максимальні разові концентрації спостерігалися на території залізничного вокзалу, і становили 1,3-1,5 мг/м³. Просторові закономірності даної речовини наступні:

- Територія ботанічного саду – це природний фон із мінімальним впливом автотранспорту. На даній моніторинговій ділянці діоксид сірки становив 0,2-0,4 мг/м³. Такі ж дані були отримані на г. Боні.
- Автостанція, згідно отриманих даних, підтверджує значний транспортний тиск. Згідно отриманих вимірів, значення діоксиду сірки дорівнювали 0,5-1,0 мг/м³.
- Залізничний вокзал демонстрував найвищі значення діоксиду сірки – до 1,5 мг/м³. Це пов'язано з рухом поїздів та наявністю автомагістральної дороги.
- Територія меморіалу та КОГПА мали схожі значення з автостанцією, проте середні значення були 0,4-1,0, тобто рівень концентрації діоксиду сірки був дещо підвищений.

Часові закономірності підвищень діоксиду сірки:

- Ранкові піки (9:00-10:30) підвищення збігаються з функціонуванням опалювальних систем та активністю транспорту;
- Денні підвищення (13:00-15:00) пов'язані з функціонуванням систем у міських будівлях;

- Вечірні значення (після 17:00-18:00) знижувалися через поступове осідання та зменшення транспортної активності.

Вуглекислий газ (CO_2) у повітрі м. Кременець фіксувався в діапазоні 0,01-0,44 мг/м^3 (ДОДАТОК Ж). Так, згідно отриманих даних розподіл концентрації наступний:

- На території ботанічного саду завжди було чисте повітря, й вуглекислий газ тримався в межах 0,01 мг/м^3 .
- Разові концентрації вуглекислого газу біля автостанції не перевищували 0,07 мг/м^3 .
- Найвища концентрація (з піками у вечірній та ранковий час) спостерігалася на залізничному вокзалі. Тут значення CO_2 дорівнювали 0,12-0,44 мг/м^3 .

Часові закономірності підвищень вуглекислого газу:

- Ранкові підвищення збігаються з піковою транспортною активністю;
- Днем рівень був стабільно низьким у більшості локацій;
- У вечірні години спостерігалосся накопичення CO_2 у зоні вокзалу, що, ймовірно, пов'язано з зменшенням вертикального перемішування повітря. Це характерна особливість для холодних вечорів м. Кременець.

Вуглекислий газ є чудовим індикатором транспортного навантаження, тому переважно найбільша концентрація зареєстрована у межах залізничного вокзалу. Найменша концентрація, відповідно, була в ботанічному саду, адже стабільно трималися мінімальні значення.

Амоніак (NH_3) тримався на позначці 0,1 мг/м^3 , але лише в одному місці – на території, що знаходиться біля вантажного залізничного вокзалу (ДОДАТОК Ж). Це пов'язано з джерелом аміаку – тепловозами (у ранкові та денні години вони працюють довше).

Озон (O_3) був наявний у атмосферному повітрі переважно влітку, що пов'язано з природою його виникнення (ДОДАТОК Ж). Важливо

відслідковувати його значення, так як за умови постійного перевищення ГДК озону, він буде негативно впливати на здоров'я населення.

Забруднення атмосферного повітря у Кременці має просторову мозаїчність (ДОДАТОК Е). Фонові значення дослідної ділянки на території ботанічного саду контрастують із транспортними локаціями (вокзалу та автостанції). Ключовими забруднювачами є діоксид сірки та вуглекислий газ. Їх високі концентрації в повітрі міста пов'язані з активністю автотранспорту, роботою опалювальних систем (взимку) та інверсійними режимами території.

Найбільш проблемною зоною є вантажний залізничний вокзал, проте зазвичай вимірювані речовини не перевищували встановлені ГДК.

3.2. Стан атмосферного повітря в літній період у Голосіївському районі м. Київ згідно даних станції моніторингу

У період із 09 червня 2025 р. по 22 липня 2025 р. поблизу корпусу № 3 НУБіП було проведено моніторинг стану атмосферного повітря за допомогою автоматизованої моніторингової станції EcoCity. Метою дослідження було визначення рівнів основних забруднюючих речовин у повітрі та оцінка їх відповідності нормативним значенням для подальших порівнянь із даними у м. Кременець, Тернопільської області.

До переліку контрольованих показників увійшли:

- Дрібнодисперсний пил;
- Озон;
- Діоксид азоту;
- Монооксид вуглецю.

Концентрації дрібнодисперсного пилу (PM_{2.5}) у досліджуваній період переважно перебували на рівні 2-10 мкг/м³. Це низький ступінь забруднення, що свідчить про відсутність інтенсивних локальних джерел дрібного аерозолу протягом більшості часу. Різкий та короткочасний викид із піковим значенням було зафіксовано 17 червня 2025 р. – 130 мкг/м³. Така подія може бути пов'язана

пов'язана з локальними пожежами, різким збільшенням транспортного навантаження. Швидке повернення до фонового рівня підтверджує епізодичний характер джерела забруднення.

Концентрація дрібнодисперсного пилу (PM_{10}) в повітрі переважно залишалася в межах 10-20 $мкг/м^3$. Це також низьке фонове забруднення. Аналогічно ситуації з дрібнодисперсним пилом 17 червня було зафіксовано підйом значення до 245 $мкг/м^3$. Із огляду на одноразовість і висоту піку, можна зробити висновок про короткочасний вплив джерела без подальших наслідків та подібних перевищень.

Концентрація озону перебувала в діапазоні 70-130 $мкг/м^3$. Водночас спостерігалися ранкові піки, які сягали 155-157 $мкг/м^3$. Дана динаміка характерна для літнього фотохімічного режиму, коли інтенсивна сонячна радіація стимулює утворення озону. Ранкові підвищення рівня озону є типовими для великих міських територій із транспортним навантаженням і активною інсоляцією в літній період.

Рівень діоксиду азоту тримався у межах 35-57 $мкг/м^3$ з регулярними ранковими підвищеннями, що є типовим для міських екосистем. Викиди переважно пов'язані з автомобільним рухом. Стабільно трималися середні рівні діоксиду азоту, що й свідчить про наявність помірному транспортного навантаження.

Монооксид вуглецю зафіксовано у межах 1100-1400 $мкг/м^3$. Нічні накопичення пов'язані зі зменшенням вертикального перемішування повітря та розвитком температурних інверсій. Пікових значень під час проведення досліджень станцією виявлено не було, що вказує на нормальний режим транспортних викидів (без значних порушень).

Дослідження вказує на наявність літнього фотохімічного режиму з підвищеними концентраціями озону та стабільними викидами транспортного походження. Загалом, якість атмосферного повітря можна оцінити як задовільну, хоча окремі події вказують на потенційну чутливість міської екосистеми до локальних забруднень, які короткочасно можуть формувати небезпечні умови

для здоров'я населення міста. Важливо проводити подальші дослідження для відстеження динаміки забруднення в умовах змін клімату та урбаністичного навантаження.

3.3. Порівняння даних, отриманих у м. Кременець та в Голосіївському районі м. Києва

Згідно отриманих даних у м. Кременець та в Голосіївському районі м. Києва отримано дещо різноманітні дані, що зумовлено різними метеорологічними, урбаністичними та сезонними чинниками. Так, у літній період у м. Кременець усі показники становили $0,1 \text{ мкг/м}^3$. Узимку для Кременця характерні низькі температури, часті температурні інверсії (ДОДАТОК А), висока вологість повітря тощо. Це сприятливі умови для накопичення у атмосферному повітрі первинних забрудників, особливо діоксиду сірки. У Києві в літній період спостерігаються висока інсоляція, підвищені температури й активні фотохімічні процеси.

Просторова структура вимірювань у двох містах також значно відрізняється. У Кременці здійснювалися виміри точково у різних локаціях – ботанічному саду, автостанції, залізничному вокзалі, біля меморіалу, на г. Бона та в дворі КОГПА. Це дозволило зафіксувати локальні транспортні та антропогенні впливи. У Києві дані було зібрано дані з міської станції моніторингу, яка представляє агрегований міський фон Голосіївського району.

Аерозольний фон у містах низький, проте рівень пилового забруднення дуже відрізняється. У Києві $\text{PM}_{2.5}$ становили в середньому $2-10 \text{ мкг/м}^3$, у той час як PM_{10} дорівнювали $10-20 \text{ мкг/м}^3$. У Кременці фіксувалися середньодобові концентрації дрібнодисперсних частинок у межах $7-20 \text{ мкг/м}^3$, та крупнодисперсних – $11-30 \text{ мкг/м}^3$. У Києві 17 червня спостерігався різке пилове забруднення атмосферного повітря. У Кременці подібні екстремальні події менш характерні у зв'язку з меншим масштабом урбанізації.

Концентрація діоксиду сірки в Кременці виявилися значно вищими, ніж можна очікувати від малих міст: $0,1-1,5 \text{ мг/м}^3$, особливо у зоні залізничного

вокзалу та біля меморіалу. Це свідчить про значний вплив стаціонарних джерел опалення та дизельних двигунів. У Києві SO_2 має значно нижчі показники, ніж в Кременці. Щодо NO_2 ситуація протилежна: у Києві зареєстровані значення 35-57 мкг/м^3 із ранковими піками. У Кременці менші середні значення речовини, проте з можливими локальними піками на транспортних вузлах (наприклад, біля автомагістралі).

Ситуація з вуглекислим газом також значно різниться між містами. У Києві концентрація CO_2 варіювала у межах 1100-1400 мг/м^3 , що є типовим для транспортного фону мегаполісу. У Кременці рівні вуглекислого газу сягали 0,44 мг/м^3 , і були найбільшими на вантажному залізничному вокзалі. Так, кожне з цих міст демонструє певну тенденцію, характерну для них, адже Київ – місто зі значним автотранспортним потоком, а Кременець має точкові місця зі значною концентрацією вуглекислого газу в певних місцях.

Важливо досліджувати зміни концентрації озону. У Кременці взимку озон фактично не фіксувався, та становив близько 0,1 мг/м^3 . Влітку фіксувалися деякі дні з підвищеним рівнем O_3 до 0,2 мг/м^3 . У Києві озон сягав 70-157 мкг/м^3 , що є класичним проявом літньої фотохімічної активності в умовах інтенсивної інсоляції та високої температури. Важливо відслідковувати перевищення концентрації озону, адже він може негативно впливати на організм людини. Регулярний вплив високих концентрацій озону подразнює слизові оболонки очей, дихальних шляхів, носу тощо.

Якщо порівнювати екстремальні забруднення, то Кременець демонструє небезпечні викиди SO_2 до 1,5 мг/м^3 , що є критичною концентрацією для органів дихання та може бути наслідком інтенсивної роботи двигунів внутрішнього згорання. Київ має небезпечні, але короткотривалі перевищення дрібнодисперсних частинок, які також становлять значний ризик для здоров'я людини. Загальна якість атмосферного повітря в Кременці відзначається локально забрудненими територіями в транспортних вузлах. У Києві ж повітря здебільшого задовільне, але схильне до фотохімічних піків у спекотні дні.

Водночас, концентрація більшості забрудників (крім дрібнодисперсного пилу) в Києві значно вища (що пов'язано з урбанізацією та промисловістю).

3.4. Результати щодо стану атмосферного повітря у м. Кременець та рекомендації задля покращення ситуації

Якість атмосферного повітря у м. Кременець можна охарактеризувати як задовільну в природоохоронних та малозабудованих районах. Територія біля залізничних колій та автомагістралі показувала підвищений рівень забруднення, пов'язаний із транспортним навантаженням та дизельною інфраструктурою. У зимовий період рівень забруднення збільшувався у зв'язку зі спаленням твердопаливних котлів, низькою температурою, високою вологістю та частими температурними інверсіями. Усі ці процеси суттєво впливають на здатність атмосфери до самоочищення, уповільнюючи цей процес.

Одним із найбільших забруднювачів м. Кременець є діоксид сірки. Концентрація SO_2 коливається у широкому діапазоні, сягаючи пікових значень до $1,5 \text{ мг/м}^3$ на ділянці біля залізничного вокзалу. Цей показник вказує на інтенсивну роботу дизельних двигунів та опалювальних систем. Хвойні насадження є дуже чутливими до цієї речовини, тож на даній дослідній ділянці можна спостерігати дуже пригнічений стан фітоіндикаторів. Навпаки, рослини на території ботанічного саду концентрація діоксиду сірки залишаються мінімальними. Це пов'язано також із природною здатністю хвойних поглинати частину газів, та розбавляти антропогенне навантаження.

Паралельно з діоксидом сірки, спостерігалось значне зростання концентрації вуглекислого газу. CO_2 є універсальним показником рівня антропогенного навантаження. Найвищі обсяги вуглекислого газу зафіксовані в районах із найінтенсивнішою транспортною активністю. Накопичення CO_2 у місті спостерігається у вечірні та ранкові години. Це додатково вказує на слабку циркуляцію повітря, властиву долинній території, що знаходиться поміж гір. Водночас у ботанічному саду концентрації CO_2 залишаються мінімальними.

Дана тенденція вказує на важливість природних зелених зон, як ефективних регуляторів газового стану атмосферного повітря міст.

Цікавим хімічним індикатором є також амоніак. Речовину було зафіксовано лише на території залізничного вокзалу. Амоніак у міських умовах є характерним продуктом неповного згорання дизельного палива (зокрема залізничної інфраструктури). NH_3 має здатність вступати в реакції з кислими аерозолями, утворюючи вторинні забруднюючі речовини, що є компонентами дрібнодисперсного пилу. Водночас, через зимові умови фотохімічні процеси майже не відбуваються, що впливає на зменшення негативного впливу амоніаку.

Важливою особливістю зимового атмосферного режиму в Кременці є практична відсутність озону. У літні місяці у дні з високими температурами O_3 короткочасно збільшувався, проте через деякий час знову розкладається. Озон є вторинним забруднювачем, що може негативно впливати на організм людини та провокувати озонові діри. Так, забруднення формується переважно за рахунок прямих викидів та майже не трансформується в атмосфері. Дана тенденція робить ситуацію з станом повітря більш передбачуваною, але, водночас, прямо залежною від інверсій та локальних джерел.

Атмосферне повітря м. Кременець можна охарактеризувати як чисте на таких дослідних ділянках: ботанічний сад, г. Бона, КОГПА. Водночас зафіксовано потенційно проблемні локації зі значним рівнем забруднення від транспортною інфраструктури. Це зокрема територія автостанції, залізничного вокзалу та центр міста.

Подальше покращення якості атмосферного повітря в Кременці потребує впровадження сучасних, науково обґрунтованих та ефективних рекомендацій, орієнтованих на локальні джерела забруднення. Необхідно модернізувати транспортну інфраструктуру. Так, не варто використовувати автотранспорт, що вийшов зі строку експлуатації, а залізничний транспорт варто оновлювати, встановлюючи сучасніші дизельні установки. Також переведення залізничних колій із дизельної чи парової тяги на електричну дозволяє суттєво знизити

викиди діоксиду сірки та амоніаку. Ці речовини є найнебезпечнішими компонентами місцевих викидів.

Значне скорочення викидів діоксиду сірки в зимовий період можна забезпечити за допомогою модернізації системи опалення. Так, можна запровадити перехід опалювальних приладів із низьким рівнем викидів. Також корисно було б запровадити міські програми з відшкодування витрат на заміну застарілого обладнання. Ці заходи можуть не лише значно скоротити концентрацію забруднювача в повітрі, а й покращити енергоефективність будівель.

Кременець має значну кількість санітарних зон, що часто складаються з хвойних насаджень. Рослини відіграють важливу роль у стабілізації рівня забрудненості атмосферного повітря. Проведені дослідження показали, що варто розширити смуги зелених насаджень біля вантажного залізничного вокзалу. Чудовими варіантами серед хвойних насаджень можуть бути туї західні та сосни звичайні, адже вони не вибагливі до навколишніх умов, морозостійкі та чудові очищувачі повітря.

Окремої уваги потребує ідея розвитку системи моніторингу. Встановлення автоматизованих станцій контролю якості повітря, що вимірюють широкий спектр забруднювачів, дозволить отримати точні та оперативні дані щодо стану приземного шару атмосфери. Це дасть можливість ухвалювати більш науково обґрунтовані управлінські рішення, а також інформувати населення про періоди підвищеного забруднення. У Кременці є автоматизована станція SaveEcoBot на території КОГПА ім. Тараса Шевченка, проте вона потребує ремонтних робіт.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Атмосферне повітря - життєво необхідний природний ресурс, що забезпечує функціонування біоти. Перевищення ГДК речовин у повітрі - серйозна екологічна проблема в Україні, що вимагає комплексних управлінських рішень у всіх рівнях – від локального до національного. Основним викликом для наукової спільноти є безперервне вдосконалення методів оцінки якості атмосферного повітря.

На державному рівні регулювання якості атмосферного повітря здійснюється за допомогою нормативно-правових документів, зокрема це: Конституція України, Кодекси (ККУ, КУпАП, Земельний, водний), Закони, Постанови, Накази тощо.

Важливою вимогою для вступу до ЄС є інтеграція чинного законодавства України з європейським. Міжнародна інтеграція передбачає імплементацію міждержавних угод у сфері охорони якості атмосферного повітря, таких як: Женевська конвенція про транскордонне забруднення повітря на великі відстані, Віденська конвенція про захист озонового шару, Декларація Ріо-де-Жанейро з питань довкілля та розвитку.

Для інформування населення та кількісної оцінки забруднення, що є уніфікованою для багатьох держав застосовується КІЗА (кількісний інструмент забруднення атмосфери). ІЗА призначений для стандартизованого подання даних про рівні забруднення повітря на конкретній території. Так, в Україні у режимі реального часу станції моніторингу надають інформацію про стан атмосферного повітря. Це відкриті дані, що надають громадські організації з метою інформування населення щодо стану атмосферного повітря.

Основними антропогенними джерелами забруднюючих речовин атмосферного повітря є промислові підприємства, використання твердопаливних котлів, автомобільний транспорт тощо. Ключові поллютанти, що підлягають моніторингу: вуглекислий газ (CO₂), дрібнодисперсні частинки (PM),

діоксид сірки (SO₂), монооксид вуглецю (CO), діоксиди азоту (NO_x), аміак (NH₃), приземний озон (O₃).

Для проведення фітоіндикації якості атмосферного повітря м. Кременець за допомогою хвойних насаджень було обрано три дослідні ділянки з різноманітними джерелами антропогенного навантаження. На обраних моніторингових майданчиках зростають схожі штучні хвойні насадження. Так, для проведення фітоіндикаційних досліджень використовувалися: туя західна (*Thuja occidentalis L.*), ялина європейська (*Picea abies (L.) Karst.*), ялівець козацький (*Juniperus communis L.*) та кипарисовик лавсона (*Chamaecyparis lawsoniana S.*).

Для проведення досліджень було обрано шкалу санітарного стану хвойних дерев, наведену в додатку 3 «Санітарних правил в лісах України» (табл. 2.2.). Так, використовувалися такі категорії стану дерев:

- I категорія – без зовнішніх ознак ослаблення;
- II категорія – незначні ознаки ослаблення дерев;
- III категорія – уражено 2/3 крони чи стовбура рослини;
- IV категорія – відмираюче дерево з пошкодженнями більше 2/3 периметра;
- V категорія – особина, що засохла в цьому році;
- VI категорія – давній сухостій.

Фітомоніторинг атмосферного повітря в м. Кременець, проведений у 2023 та 2025 рр. був проведений на трьох ділянках із різним техногенним навантаженням:

- Значне антропогенне навантаження в зоні залізничного вокзалу та інтенсивного руху автотранспорту. На даній ділянці переважали дуже ослаблені хвойні рослини (III-IV категорії);
- Помірне антропогенне навантаження у центральній частині міста. У порівнянні з даними, отриманими 2023 році фітосанітарний стан хвойних у 2025 році дещо покращився;

- Слабкий рівень навантаження (наближений до фонового) на території Кременецького ботанічного саду. Тут переважали здорові рослини, віднесені до I категорії, а також не було виявлено рослин III-IV категорій.

Стан хвойних насаджень, як чутливих до забруднення повітря фітоіндикаторів підтверджує наявність просторово неоднорідного техногенного впливу. Так, найбільш пригнічений стан був у хвойних, що зростали біля залізничної станції та автомагістральної дороги, а найбільш здорові насадження знаходяться у природоохоронній зоні.

Підвищення якості атмосферного повітря в Кременці можливе лише завдяки цілеспрямованому поєднанню технологічних, екологічних та організаційних заходів: модернізації транспортної та опалювальної інфраструктури, збільшенню зелених зон та впровадженню сучасних моніторингових систем. Компактність міста, наявність гір довкола та наявність значної площі озелених територій створюють сприятливі умови для швидкого досягнення відчутних покращень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ситніченко О. М. Актуальні питання правової охорони атмосферного повітря від забруднюючих речовин у відпрацьованих газах транспортних засобів / О. М. Ситніченко // Юридичний вісник. Повітряне і космічне право. - 2018. - № 4. - С. 32-38. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnau_2018_4_6 (дата звернення: 08.09.2025)
2. Гетьман, А. П. (2016). Правові засади нормування у галузі охорони атмосферного повітря. Дисертація https://library.nlu.edu.ua/POLN_TEXT/AVTOREF_2017/Kopytsia_2016_dus.pdf (дата звернення: 08.09.2025)
3. Конституція України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 08.09.2025)
4. Земельний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text> (дата звернення: 10.09.2025)
5. Водний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 10.09.2025)
6. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> (дата звернення: 10.09.2025)
7. Кодекс України про адміністративні правопорушення. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80731-10> (дата звернення: 11.09.2025)
8. Кримінальний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2341-14#Text> (дата звернення: 11.09.2025)
9. Про охорону атмосферного повітря. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text> (дата звернення: 12.09.2025)
10. ЗУ Про охорону навколишнього природного середовища. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 12.09.2025)

11. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (дата звернення: 12.09.2025)

12. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку ведення державного обліку в галузі охорони атмосферного повітря» (від 13.12.2001 № 1655). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1655-2001-%D0%BF#Text> (дата звернення: 13.09.2025)

13. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України «Про затвердження Переліку забруднюючих речовин, викиди яких в атмосферне повітря підлягають регулюванню» (від 27.06.2006 № 309). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0912-06#Text> (дата звернення: 13.09.2025)

14. Мінекономіки стає Міністерством економіки, довкілля та сільського господарства. URL: <https://me.gov.ua/News/Detail/83f0e17d-2fbf-4515-8b23-7b96590bb44e?lang=uk-UA&title=MinekonomikiStaMinisterstvomEkonomiki-DovkilliaTaSil'skogoGospodarstva> (дата звернення: 13.09.2025)

15. Офіційна сторінка Міністерства економіки, довкілля та сільського господарства. URL: <https://me.gov.ua/?lang=uk-UA> (дата звернення: 13.09.2025)

16. Association Agreement between the European Union and Ukraine. URL: <https://www.kmu.gov.ua/en/yevropejska-integraciya/ugoda-pro-asociasiyu> (дата звернення: 14.08.2025)

17. УГОДА ПРО АСОЦІАЦІЮ між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text (дата звернення: 14.09.2025)

18. Convention on long-range transboundary air pollution. URL: https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-1&chapter=27&clang=_en (дата звернення: 14.08.2025)

19. Конвенція про транскордонне забруднення повітря на великі відстані. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_223#Text (дата звернення: 14.09.2025)

20. The Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer. URL: <https://ozone.unep.org/treaties/vienna-convention> (дата звернення: 14.08.2025)
21. МОНРЕАЛЬСЬКИЙ ПРОТОКОЛ про речовини, що руйнують озоновий шар. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/MU87002R> (дата звернення: 14.09.2025)
22. About Montreal Protocol. URL: <https://www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol> (дата звернення: 14.08.2025)
23. Viñuales, Jorge E (ed.), The Rio Declaration on Environment and Development: A Commentary, Oxford Commentaries on International Law (2015; online edn, Oxford Law Pro). URL: <https://doi.org/10.1093/law/9780199686773.001.0001>, accessed 9 Sept. 2025.
24. European Parliament and Council Directive 94/63/EC of 20 December 1994 on the control of volatile organic compound (VOC) emissions resulting from the storage of petrol and its distribution from terminals to service stations. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1994/63/oj/eng> (дата звернення: 10.07.2025)
25. Directive 2004/42/CE of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain paints and varnishes and vehicle refinishing products and amending Directive 1999/13/EC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2004/42/oj/eng> (дата звернення: 10.07.2025)
26. Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2004/107/oj/eng> (дата звернення: 10.07.2025)
27. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj/eng> (дата звернення: 10.07.2025)
28. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and

control) (recast) (Text with EEA relevance). URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/75/oj/eng> (дата звернення: 10.07.2025)

29. Директива (ЄС) 2016/2284 про скорочення національних викидів певних забруднювачів атмосферного повітря. URL: <https://compass27.info/dyrektyva-yes-2016-2284-pro-skorochennya-nacziionalnyh-vykydiv-pevnyh-zabrudnyuvachiv-atmosfernogo-povitrya/> (дата звернення: 10.07.2025)

30. Directive (EU) 2024/2881 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2024 on ambient air quality and cleaner air for Europe (recast). URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/2881/oj/eng> (дата звернення: 10.07.2025)

31. Рубцова, І. (2021). ПОНЯТТЯ Й ОСОБЛИВОСТІ ДЕТЕРМІНАНТИ «ОХОРОНА АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ». URL: <http://www.pgp-journal.kiev.ua/archive/2021/6/17.pdf> (дата звернення: 15.09.2025)

32. Southerland, V. A., Brauer, M., Mohegh, A., Hammer, M. S., Van Donkelaar, A., Martin, R. V., ... & Anenberg, S. C. (2022). Global urban temporal trends in fine particulate matter (PM_{2.5}) and attributable health burdens: estimates from global datasets. *The Lancet Planetary Health*, 6(2), e139-e146

33. Бакурова, А. В., & Жосан, В. Г. (2007). Моделювання економічного механізму охорони атмосферного повітря. Запорізького національного університету, 5.

34. Гордієнко, А. В. (2024). Участь громадськості в публічному управлінні у сфері охорони атмосферного повітря та безпеки повітряного простору в Україні. НАУКОВИЙ ВІСНИК МІЖНАРОДНОГО ГУМАНІТАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ, 34. DOI <https://doi.org/10.32782/2307-1745.2024.69.7>. URL: https://vestnik-pravo.mgu.od.ua/archive/juspradenc69/69_2024.pdf#page=34 (дата звернення: 18.09.2025)

35. Bermes, A., & Tomeniuk, O. (2020, December). Application of GIS for morphotectonic analysis (on the example of Kremenets Mountains). In *International*

Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2020» (Vol. 2020, No. 1, pp. 1-5).
European Association of Geoscientists & Engineers.

36. Copernicus. URL: <https://surl.li/ienazb> (дата звернення: 23.09.2025)

37. WindRose.xyz. URL: <https://surl.li/tssvmp> (дата звернення: 20.09.2025)

38. Метеорологічний архів м. Кременець. URL: https://www.meteoblue.com/uk/weather/historyclimate/weatherarchive/%d0%9a%d1%80%d0%b5%d0%bc%d0%b5%d0%bd%d0%b5%d1%86%d1%8c_ukraine_704143?fcstlength=1y&year=2025&month=9 (дата звернення: 21.09.2025)

39. Найчистіші міста України – топ 10 найбільш екологічних міст. Веб-сайт. URL: <https://inkorr.com/najcistisi-mista-ukraini-top-10-najbils-ekologicnih-mist-259361> (дата звернення: 22.09.2025)

40. Постанова Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text> (дата звернення: 22.09.2025)

41. Гончаренко О. Забруднення атмосферного повітря та його наслідки / О. Гончаренко ; [наук. кер. Волкова Ю. В.] // Екологія. Здоров'я людини. Проблеми та перспективи людства : матеріали Міжнар. дистанційної екологічної наук.-практ. конф., м. Харків, 01 грудня 2022 р. - Харків, 2023. – С. 126-132.

42. ГАВРИЛЮК, Д.В. ОКСИД АЗОТУ: ВИКИДИ У НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ОРГАНІЗМ. Хімія. Екологія. Медицина.: матеріали XV студентської онлайн-конференції, присвяченої Всесвітньому дню здоров'я (Харків, 1-5 квітня 2024 року).–Харків: ХНМУ, 2024.–127 с.: 76.

43. EPA. Health Effects of Ozone Pollution. URL: <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/health-effects-ozone-pollution> (Дата звернення: 02.10.2025)

44. Долженкова, О. (2024). Застосування світового досвіду охорони атмосферного повітря в Україні. Challenges and Issues of Modern Science, 2, 446-451. <https://cims.fti.dp.ua/j/article/view/121/182> (Дата звернення: 02.10.2025)

45. Safonov, A. I. (2014). Indicative role of plants in the system of city management in an industrial region. Вісник Донецького національного університету. Серія А: Природничі науки, 161-168.

46. Яковлева-Носарь С. О. Дендрологія: конспект лекцій для самостійної роботи студентів спеціальності 206 «Садово-паркове господарство» / С. О. Яковлева-Носарь; Хортицька національна академія. – Запоріжжя, 2023. – 148 с.

47. Vrushali Baisane, Sakshi Shejwal*, Pritam Sawant, Sanika Chavan, Priya Salunke, A Review on Thuja Plant Species, Int. J. Sci. P. Тех., 2025, 2 (2), 14-24. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14813063> (Дата звернення: 02.10.2025)

48. Norway Spruce - *Picea abies*. URL: <https://www.naturespot.org/species/norway-spruce> (Дата звернення: 15.10.2025)

49. *Juniperus communis*. URL: <https://www.woodlandtrust.org.uk/trees-woods-and-wildlife/british-trees/a-z-of-british-trees/juniper/> (Дата звернення: 15.10.2025)

50. Lawson's Cypress - *Cupressus lawsoniana*. URL: <https://www.naturespot.org/species/lawsons-cypress> (Дата звернення: 15.10.2025)

51. Hwang, G. J., & Jang, U. S. (2025). Local Air Pollution Assessment Using Bryophytes as Bioindicators: A Case Study of Urban Development Forests and Biosphere Reserves. Korean Journal of Plant Resources, 38(2), 198-207. Режим доступу: <https://www.kjpr.kr/articles/xml/k0Lk/> (Дата звернення: 18.10.2025)

52. Kończak, B., Cempa, M., & Ziemińska-Buczyńska, A. (2025). Role of broad-and needle-leaf morphology in capturing particulate matter and emerging pollutants in urban environments. Environmental Pollution, 127233. Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749125016070> (Дата звернення: 18.10.2025)

53. Санітарні правила в лісах України : Затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2016 р. № 756. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/756-2016-%D0%BF> (дата звернення 10.10.2025 р.).

54. Бебнева Є. Р., Гурська О. В. Оцінка атмосферного повітря території з сильним рівнем забруднення за станом хвойних насаджень регіону (на прикладі

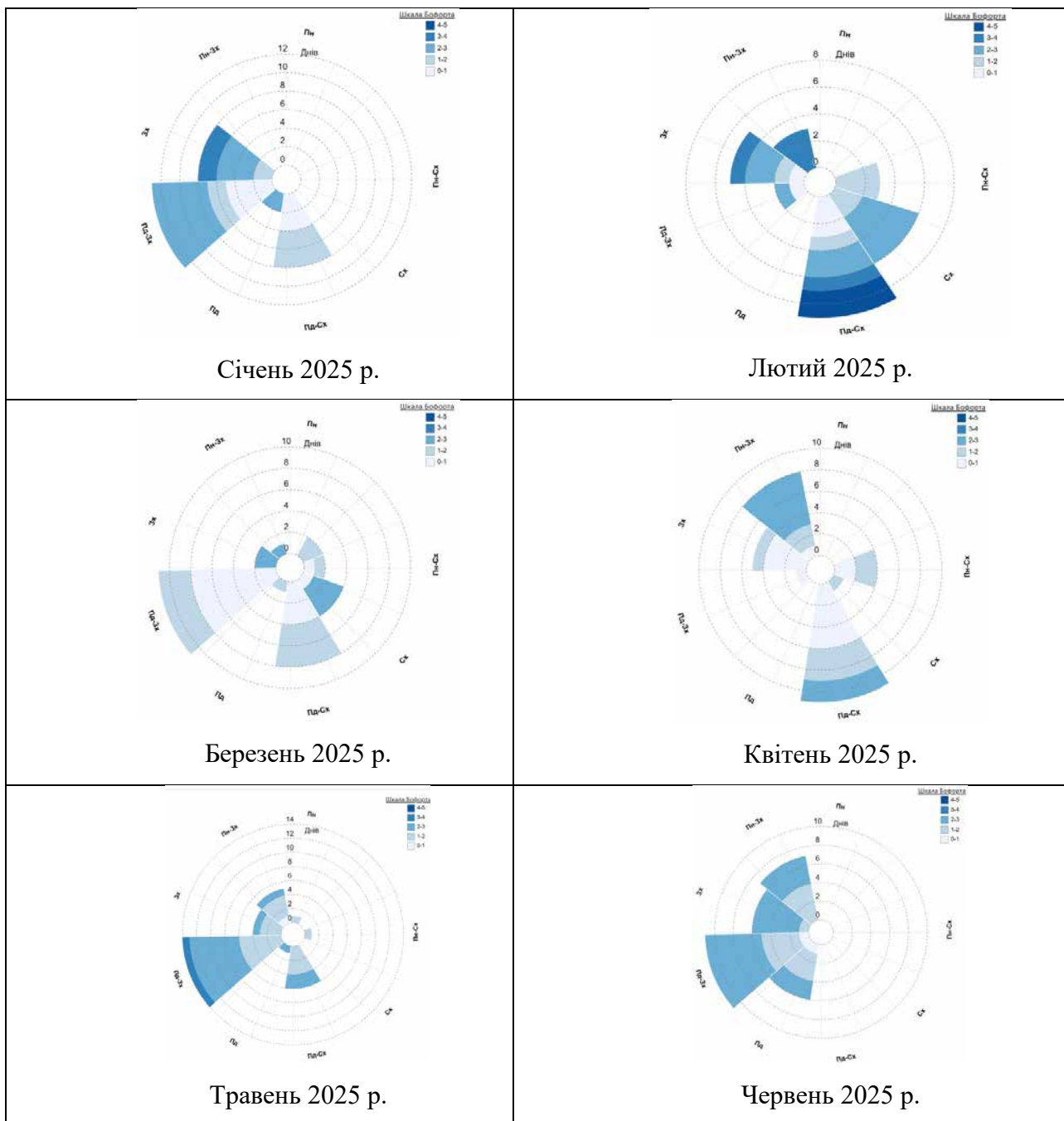
м. Кременця). KREMENETS SCIENCE: OPEN AIR, АБО НАУКА В КРОСІВКАХ: збірник наукових статей / за заг. ред. О. В. Тригуби. Кременець : ВЦ КОГПА ім. Тараса Шевченка, 2024. Випуск XI.

55. Бєбнева Є. Р., Тищук Д. В., Чорненька І. І., Гурська О. В. Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря за станом хвойних насаджень регіону (на прикладі м. Кременця). The 23th International scientific and practical conference «The influence of society on the development of science and the invention of new methods» (June 13 – 16, 2023) Prague, Czech Republic. International Science Group. 2023. P. 40-45.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

РОЗМ ВІТРІВ М. КРЕМЕНЕЦЬ



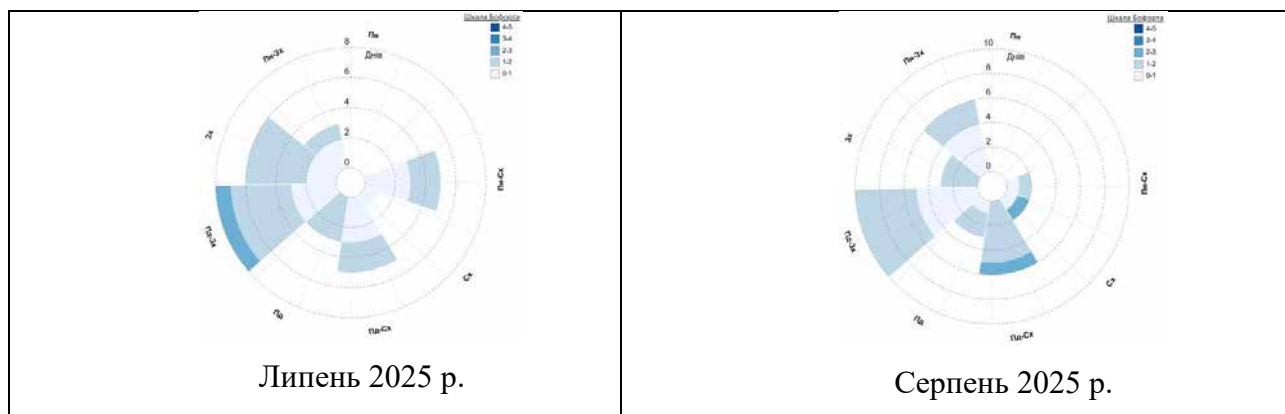


Рис. А. Рози вітрів по місяцях у м. Кременець за 2025 р.

ДОДАТОК Б
ХВОЙНІ НАСАДЖЕННЯ ДІЛЯНКИ ЗІ ЗНАЧНИМ РІВНЕМ
ЗАБРУДНЕННЯ (ЗАЛІЗНИЧНИЙ ВОКЗАЛ ТА АВТОМАГІСТРАЛЬ)



Рис. Б1. Туї західні (*Thuja occidentalis* L.)



Рис. Б2. Ялина європейська (*Picea abies* (L.) Karsten)



Рис. Б3. Ялівець козацький (*Juniperus sabina* L.)

ДОДАТОК В
ХВОЙНІ НАСАДЖЕННЯ ДІЛЯНКИ З ПРОМІЖНИМ РІВНЕМ
ЗАБРУДНЕННЯ (ТЕРИТОРІЯ БІЛЯ МЕМОРІАЛУ)

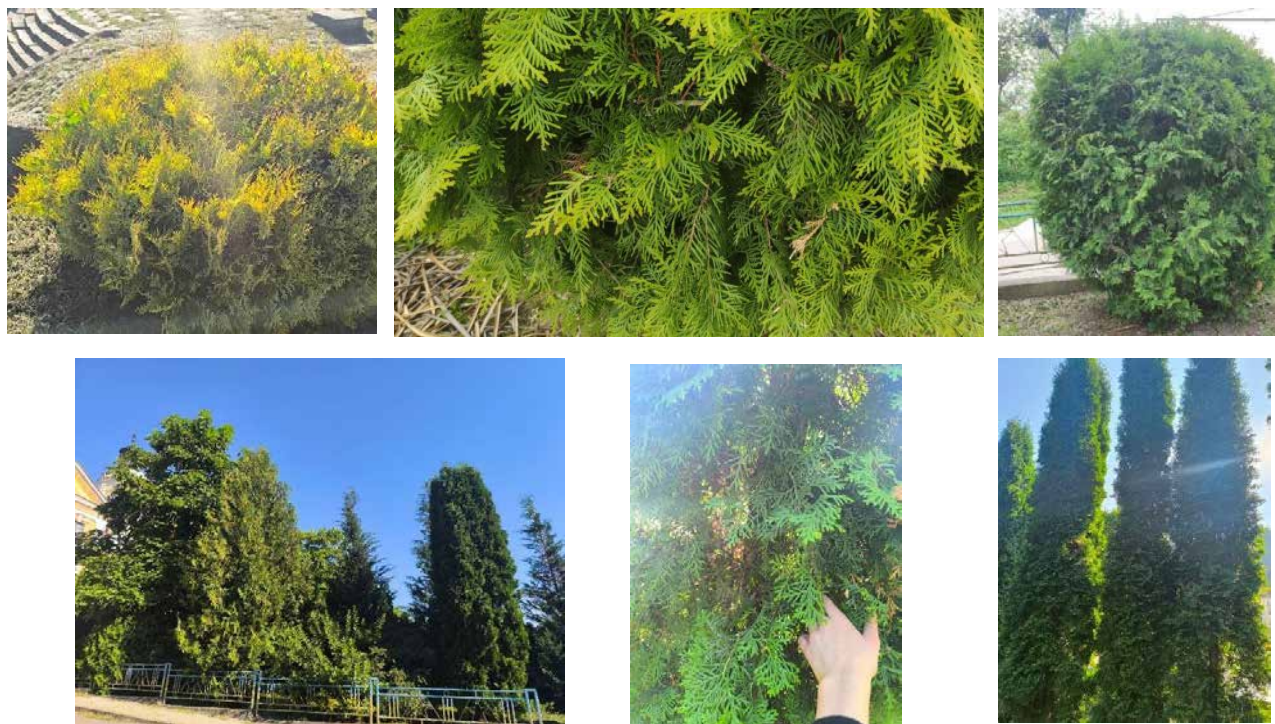


Рис. В1. Туя західна (*Thuja occidentalis* L.)



Рис. В2. Кипарисовик Лавсона (*Chamaecyparis lawsoniana*)



Рис. В3. Ялівець козацький (*Juniperus sabina* L.)



Рис. В4. Ялина європейська (*Picea abies* (L.) Karsten)

ДОДАТОК Д
ХВОЙНІ НА ДІЛЯНЦІ З СЛАБКИМ РІВНЕМ ЗАБРУДНЕННЯ
(БОТАНІЧНИЙ САД)



Рис. Д1. Загальний вигляд моніторингової ділянки



Рис. Д2. Туя західна (*Thuja occidentalis* L.)

ДОДАТОК Е
ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ



Рис. Е1. Аналізатор якості повітря SEM DT-9881



Рис. Е2. Мультигазовий детектор WALCOM MGD-04

ДОДАТОК Ж

Таблиця Ж1

Результати вимірювань у м. Кременець за 02.12.2024-08.12.2024

Дата	Час	Локація	SO ₂	CO ₂	NH ₃
02.12.2024	09:00	ботсад	0.4	0.01	-
02.12.2024	09:40	автостанція	0.6	0.02	-
02.12.2024	10:05	Ж/Д вокзал	0.7	0.17	0.1
02.12.2024	12:40	ботсад	0.5	0.01	-
02.12.2024	13:13	автостанція	0.6	0.02	-
02.12.2024	13:30	Ж/Д вокзал	0.7	0.24	0.1
02.12.2024	19:10	ботсад	0.4	0.01	-
02.12.2024	19:45	автостанція	0.7	0.02	-
02.12.2024	20:03	Ж/Д вокзал	0.9	0.20	-
03.12.2024	09:04	ботсад	0.3	0.01	-
03.12.2024	09:21	автостанція	0.5	0.03	-
03.12.2024	09:41	Ж/Д вокзал	0.6	0.24	0.1
03.12.2024	13:00	ботсад	0.3	0.01	-
03.12.2024	13:29	автостанція	0.6	0.02	-
03.12.2024	13:54	Ж/Д вокзал	0.8	0.16	0.1
03.12.2024	18:00	ботсад	0.2	0.01	-
03.12.2024	18:39	автостанція	0.6	0.02	-
03.12.2024	18:50	Ж/Д вокзал	0.9	0.18	-
04.12.2024	09:04	ботсад	0.3	0.01	-
04.12.2024	09:37	автостанція	0.6	0.02	-
04.12.2024	10:00	Ж/Д вокзал	0.8	0.13	(O ₃ - 0.1)
04.12.2024	13:36	ботсад	0.02	0.01	-
04.12.2024	14:05	автостанція	0.9	0.03	-
04.12.2024	14:15	Ж/Д вокзал	0.7	0.21	-
04.12.2024	20:53	ботсад	0.4	0.01	-
04.12.2024	21:16	автостанція	0.7	0.01	-
04.12.2024	21:32	Ж/Д вокзал	0.6	0.20	-
05.12.2024	08:40	ботсад	0.3	0.01	-

05.12.2024	09:10	автостанція	0.7	0.07	-
05.12.2024	09:33	Ж/Д вокзал	0.7	0.14	(ОЗ - 0.1)
05.12.2024	13:04	ботсад	0.6	0.01	-
05.12.2024	13:35	автостанція	0.6	0.03	-
05.12.2024	13:50	Ж/Д вокзал	0.9	0.13	(ОЗ - 0.2)
05.12.2024	19:00	ботсад	0.02	0.01	-
05.12.2024	19:30	автостанція	0.7	0.02	-
05.12.2024	19:48	Ж/Д вокзал	1.0	0.20	(ОЗ - 0.1)
06.12.2024	08:51	ботсад	0.6	0.02	-
06.12.2024	09:35	автостанція	0.9	0.06	-
06.12.2024	09:50	Ж/Д вокзал	0.7	0.14	-
06.12.2024	13:37	ботсад	0.5	0.01	-
06.12.2024	14:07	автостанція	0.6	0.01	-
06.12.2024	14:24	Ж/Д вокзал	0.7	0.21	-
06.12.2024	20:10	ботсад	0.4	0.01	-
06.12.2024	21:10	автостанція	0.8	0.03	-
06.12.2024	22:37	Ж/Д вокзал	1.0	0.44	-
07.12.2024	09:03	ботсад	0.4	0.01	-
07.12.2024	10:28	автостанція	0.8	0.01	-
07.12.2024	10:45	Ж/Д вокзал	1.3	0.02	-
07.12.2024	13:10	ботсад	0.7	0.01	-
07.12.2024	13:47	автостанція	1.0	0.01	-
07.12.2024	14:09	Ж/Д вокзал	1.5	0.12	-
07.12.2024	18:40	ботсад	0.5	0.01	-
07.12.2024	19:10	автостанція	0.8	0.02	-
07.12.2024	19:42	Ж/Д вокзал	1.0	0.17	-
08.12.2024	08:53	ботсад	0.3	0.01	-
08.12.2024	09:34	автостанція	0.9	0.02	-
08.12.2024	09:53	Ж/Д вокзал	1.1	0.15	-
08.12.2024	12:59	ботсад	0.4	0.01	-
08.12.2024	13:32	автостанція	0.7	0.15	-
08.12.2024	13:53	Ж/Д вокзал	0.8	0.23	-
08.12.2024	20:05	ботсад	0.4	0.01	-

08.12.2024	20:30	автостанція	0.9	0.06	-
08.12.2024	20:50	Ж/Д вокзал	1.1	0.20	-

Таблиця Ж2

Результати вимірювань у м. Кременець за 18.12.2024-25.12.2024

Дата	Час	Локація	SO ₂	CO ₂
18.12.2024	09:08	бона	0.2	0.01
18.12.2024	09:40	меморіал	0.3	0.02
18.12.2024	10:05	КОГПА	0.4	0.01
18.12.2024	13:17	бона	0.2	0.01
18.12.2024	13:59	меморіал	0.7	0.02
18.12.2024	14:02	КОГПА	0.6	0.02
18.12.2024	20:07	бона	0.2	0.01
18.12.2024	20:39	меморіал	0.5	0.02
18.12.2024	21:43	КОГПА	0.5	0.01
19.12.2024	08:49	бона	0.3	0.01
19.12.2024	09:28	меморіал	0.7	0.01
19.12.2024	09:32	КОГПА	0.6	0.01
19.12.2024	12:08	бона	0.4	0.01
19.12.2024	12:56	меморіал	0.7	0.01
19.12.2024	13:00	КОГПА	0.5	0.01
19.12.2024	20:33	бона	0.4	0.01
19.12.2024	21:14	меморіал	0.6	0.01
19.12.2024	21:17	КОГПА	0.5	0.01
20.12.2024	08:38	бона	0.3	0.01
20.12.2024	09:29	меморіал	0.7	0.02
20.12.2024	09:31	КОГПА	0.5	0.02
20.12.2024	13:44	бона	0.4	0.01
20.12.2024	14:27	меморіал	1.0	0.05
20.12.2024	14:30	КОГПА	0.8	0.03
20.12.2024	20:57	бона	0.4	0.01
20.12.2024	21:48	меморіал	0.8	0.02
20.12.2024	21:50	КОГПА	0.7	0.02

21.12.2024	08:04	бона	0.2	0.01
21.12.2024	08:55	меморіал	0.4	0.01
21.12.2024	08:59	КОГПА	0.3	0.01
21.12.2024	12:40	бона	0.2	0.01
21.12.2024	13:38	меморіал	0.5	0.01
21.12.2024	14:00	КОГПА	0.4	0.01
21.12.2024	20:10	бона	0.1	0.01
21.12.2024	20:58	меморіал	0.8	0.01
21.12.2024	21:00	КОГПА	0.7	0.01
22.12.2024	09:53	бона	0.3	0.01
22.12.2024	10:43	меморіал	0.5	0.03
22.12.2024	10:45	КОГПА	0.4	0.02
22.12.2024	13:17	бона	0.2	0.01
22.12.2024	13:59	меморіал	0.6	0.02
22.12.2024	14:03	КОГПА	0.5	0.01
22.12.2024	20:56	бона	0.2	0.0
22.12.2024	21:42	меморіал	0.5	0.0
22.12.2024	21:44	КОГПА	0.4	0.0
23.12.2024	09:22	бона	0.	0.0
23.12.2024	10:00	меморіал	1.3	0.01
23.12.2024	10:03	КОГПА	1.0	0.01
23.12.2024	13:23	бона	0.3	0.01
23.12.2024	14:02	меморіал	1.1	0.02
23.12.2024	14:05	КОГПА	0.9	0.01
23.12.2024	21:00	бона	0.4	0.01
23.12.2024	21:47	меморіал	0.7	0.02
23.12.2024	21:49	КОГПА	0.6	0.01
24.12.2024	08:57	бона	0.2	0.01
24.12.2024	09:07	меморіал	1.0	0.01
24.12.2024	09:59	КОГПА	0.9	0.01
24.12.2024	13:57	бона	0.3	0.01
24.12.2024	14:41	меморіал	0.7	0.01
24.12.2024	14:43	КОГПА	0.6	0.01

24.12.2024	20:56	бона	0.1	0.01
24.12.2024	21:39	меморіал	0.8	0.01
24.12.2024	21:44	КОГПА	0.6	0.01
25.12.2024	09:20	бона	0.3	0.01
25.12.2024	10:06	меморіал	0.5	0.01
25.12.2024	10:09	КОГПА	0.4	0.01
25.12.2024	13:41	бона	0.2	0.01
25.12.2024	14:37	меморіал	0.6	0.02
25.12.2024	14:39	КОГПА	0.4	0.01
25.12.2024	20:24	бона	0.2	0.01
25.12.2024	20:59	меморіал	0.4	0.01
25.12.2024	21:03	КОГПА	0.4	0.01