

**Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка**

Факультет географічний
Кафедра геоекології та гідрології

Кваліфікаційна робота

**КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ (ШУМ,
СВІТЛО, ВІБРАЦІЯ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПОЛЯ) НА ЕКОЛОГІЧНИЙ
СТАН МІСТА НА ПРИКЛАДІ МІСТА ВАРШАВА**

Спеціальність: 101 «Екологія»
Освітня програма «Екологія»

Здобувача вищої освіти освітньо-
кваліфікаційного рівня «бакалавр»
Гриновецького Максима Олександровича

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:
кандидат географічних наук, доцент
Стецько Надія Петрівна

РЕЦЕНЗЕНТ:
Кандидат географічних наук, доцент
Царик Петро Любомирович

Тернопіль – 2026

АНОТАЦІЯ

Гриновецький М.О. Комплексна екологічна оцінка впливу фізичних факторів на стан довкілля міста Warsaw. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 101 Екологія. ТНПУ ім. В. Гнатюка. Тернопіль, 2026. ___ с.

У кваліфікаційній бакалаврській роботі здійснено аналіз теоретико-методичних засад дослідження фізичних факторів антропогенного походження у міському середовищі; розглянуто основні джерела та особливості впливу шумового, світлового, вібраційного та електромагнітного забруднення на довкілля і здоров'я населення; проаналізовано методи оцінки та моніторингу фізичного забруднення урбанізованих територій; проведено порівняльний аналіз нормативно-правового регулювання фізичного забруднення в Україні та країнах Європейського Союзу.

У роботі здійснено еколого-географічну характеристику міста Warsaw; визначено основні джерела фізичного навантаження та проаналізовано просторовий розподіл шуму, світлового забруднення, вібрацій і електромагнітних полів у межах міського середовища. Проведено порівняння рівнів фізичного забруднення у Варшаві та окремих містах України, зокрема Kyiv, Lviv і Ternopil.

Виконано комплексну екологічну оцінку впливу фізичних факторів на стан довкілля міста, здоров'я населення та урбанізовані екосистеми; запропоновано рекомендації щодо зменшення негативного впливу фізичних факторів у містах України на основі досвіду країн ЄС; визначено напрями підвищення екологічної безпеки міського середовища.

Ключові слова: фізичне забруднення, шумове забруднення, світлове забруднення, вібрації, електромагнітні поля, міське середовище, екологічна безпека, Warsaw.

ABSTRACT

Hrynovetskyi M.O. Comprehensive ecological assessment of the impact of physical factors on the environmental condition of the city of Warsaw. Qualification work for obtaining the bachelor's degree in specialty 101 Ecology. TNPU named after V. Hnatyuk. Ternopil, 2026. ___ p.

The bachelor's qualification work analyzes the theoretical and methodological foundations of the study of anthropogenic physical factors in the urban environment; examines the main sources and features of the impact of noise, light, vibration and electromagnetic pollution on the environment and public health; analyzes methods for assessing and monitoring physical pollution in urbanized areas; and provides a comparative analysis of the legal regulation of physical pollution in Ukraine and the countries of the European Union.

The paper presents an ecological and geographical characteristic of the city of Warsaw; identifies the main sources of physical load and analyzes the spatial distribution of noise, light pollution, vibration and electromagnetic fields within the urban environment. A comparison of physical pollution levels in Warsaw and selected cities of Ukraine, including Kyiv, Lviv and Ternopil, was carried out.

A comprehensive ecological assessment of the impact of physical factors on the environment, public health and urban ecosystems was conducted; recommendations for reducing the negative impact of physical factors in Ukrainian cities based on EU experience were proposed; and directions for improving the environmental safety of the urban environment were identified.

Key words: physical pollution, noise pollution, light pollution, vibration, electromagnetic fields, urban environment, environmental safety, Warsaw

ЗМІСТ

ВСТУП.....	1
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ НА МІСЬКЕ СЕРЕДОВИЩЕ.....	3
1.1. Фізичні фактори впливу на довкілля антропогенного походження та їх класифікація.....	3
1.2. Наслідки впливу шуму, світла, вібрацій та електромагнітних полів на екологічний стан довкілля та здоров'я людей.....	5
1.3. Методи оцінки та моніторинг фізичних факторів впливу забруднення в урбанізованих територіях.....	8
1.4. Нормативно-правове регулювання фізичних факторів впливу в Україні та країнах ЄС.....	11
Висновки до розділу 1.....	14
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ НАВАНТАЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ У МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ ВАРШАВИ.....	16
2.1. Екологогеографічна характеристика міста Варшава.....	16
2.2. Основні джерела та рівні фізичних факторів у місті (шум, світло, вібрація, електромагнітні поля).....	19
2.3. Просторовий розподіл фізичних факторів та їхній вплив на якість міського середовища.....	22
2.4. Вплив фізичного навантаження на здоров'я людей, зелені насадження та урбанізовані екосистеми.....	24
2.5. Порівняння рівнів фізичного забруднення довкілля у Варшаві та окремих містах України (наприклад, Київ, Львів, Тернопіль).....	26
2.6. Візуалізація даних: карти, графіки та таблиці показників фізичного забруднення.....	28
Висновки до розділу 2.....	31
РОЗДІЛ 3. КОМПЛЕКСНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ МІСТА ВАРШАВА.....	32
3.1. Система показників для оцінки сукупного впливу фізичних факторів.....	32

3.2. Рекомендації щодо зменшення впливу фізичних факторів у містах України на основі досвіду ЄС.....	35
3.3. Шляхи зменшення негативного впливу фізичних факторів і напрями підвищення екологічної безпеки Варшави.....	37
Висновки до розділу 3.....	39
ВИСНОВКИ.....	4

1

СПИСОК	ВИКОРИСТАНИХ
ДЖЕРЕЛ.....	43
ДОДАТКИ.....	4

6

ВСТУП

Сучасний розвиток міст супроводжується посиленням антропогенного навантаження на довкілля, важливою складовою якого є фізичне забруднення міського середовища. Інтенсивний розвиток транспорту, збільшення щільності забудови, поширення систем штучного освітлення та електротехнічного обладнання призводять до зростання рівнів шуму, вібрацій, світлового та електромагнітного забруднення. Ці фактори негативно впливають на здоров'я населення, якість життя та функціонування урбанізованих екосистем, що визначає актуальність їх комплексного дослідження.

Особливої актуальності проблема фізичного забруднення набуває у великих європейських містах, де високий рівень урбанізації поєднується зі значним техногенним навантаженням. Одним із таких міст є Варшава - столиця Польщі та один із найбільших урбанізованих центрів Центральної Європи, що є показовим прикладом для дослідження впливу фізичних факторів на стан міського довкілля.

Об'єктом дослідження є фізичне забруднення урбанізованого середовища міста Варшави.

Предметом дослідження є особливості формування, просторового поширення та впливу шуму, світлового забруднення, вібрацій і електромагнітних полів на екологічний стан міського середовища.

Метою роботи є комплексна екологічна оцінка впливу фізичних факторів на стан довкілля міста Варшава та визначення напрямів зменшення їх негативного впливу.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

- Дослідити теоретико-методичні засади вивчення фізичних факторів;
- Проаналізувати джерела та рівні фізичного навантаження у Варшаві;
- Оцінити вплив фізичних факторів на населення та міські екосистеми;
- Порівняти рівні фізичного забруднення у Варшаві та окремих містах України;
- Розробити рекомендації щодо зменшення негативного впливу фізичних факторів.

У роботі використано загальнонаукові та спеціальні методи дослідження: аналіз наукових джерел, порівняльний, статистичний, картографічний методи та методи геоінформаційного аналізу.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання результатів дослідження для вдосконалення систем екологічного моніторингу та підвищення екологічної безпеки міського середовища.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ НА МІСЬКЕ СЕРЕДОВИЩЕ

1.1 Фізичні фактори впливу на довкілля антропогенного походження та їх класифікація

Фізичні фактори антропогенного походження - шум, світлове штучне забруднення, вібрації та електромагнітні поля - становлять окрему групу фізичних забруднювачів, які формують специфічне навантаження на урбанізовані екосистеми. У контексті дослідження міського середовища важливо розглядати ці фактори комплексно: вони часто співіснують і взаємно підсилюють вплив один одного (наприклад, вуличне освітлення змінює поведінку тварин, а шум - викликає стрес у людей і тварин одночасно), тому потрібно оцінювати вплив кожного як окремий фактор, а також і як сумарне фізичне навантаження.

Фізичні фактори впливу на довкілля антропогенного походження, зокрема шум, світлове забруднення, вібрації та електромагнітні поля, формують окрему групу фізичних чинників техногенного навантаження на урбанізовані екосистеми [8, с.1-4]. Вони виникають унаслідок людської діяльності і виражаються у вигляді змін фізичних параметрів середовища. На відміну від хімічних або біологічних впливів, ці фактори не пов'язані з хімічними сполуками чи живими об'єктами, а пов'язані з енергією - акустичною, світловою, механічною чи електромагнітною. У вузькому сенсі фізичне забруднення - це зміни фізичних властивостей навколишнього природного середовища під впливом антропогенної діяльності, що негативно впливають на життєдіяльність людини, стан біоценозів і якість довкілля в цілому [14, с. 2-5]. У контексті урбанізованих територій саме комплексність цих факторів визначає якість середовища та рівень екологічних ризиків для населення.

В екологічних дослідженнях фізичні фактори зазвичай класифікують за їх природою дії та фізичними характеристиками. Серед основних видів антропогенного фізичного навантаження на середовище виділяють: шумове

забруднення, світлове забруднення, вібрації та електромагнітне забруднення. Крім того, до фізичних факторів інколи включають теплові аномалії (теплове забруднення), які виникають у містах через інтенсивну діяльність підприємств і транспортних систем та зміну енергетичного балансу середовища.

Шумове забруднення. Шум - це коливні механічні хвилі, що розповсюджуються через середовище (повітря, воду, тверді тіла) і сприймаються організмом як звуковий сигнал або як небажане акустичне навантаження. У екології шум розглядають як одну з форм фізичного (хвильового) забруднення довкілля, що виникає внаслідок діяльності людини, і визначають як «сукупність звуків різної частоти та інтенсивності, які виходять за межі звукового комфорту» і мають негативний вплив на організм живих істот.

Антропогенний шум виникає переважно від транспортних джерел (автомобільний, залізничний, авіаційний транспорт), промислових об'єктів, будівельної та комунальної техніки, а також від аудіоапаратури й людської діяльності в містах. Його характерні параметри - частота, інтенсивність (вимірюється в децибелах, дБА), тривалість і спектральний склад - визначають ступінь впливу на живі організми та на функціонування урбанізованих систем. У міському середовищі рівень шуму часто перевищує природний фон і здатен спричиняти стрес, порушення сну, зниження когнітивної продуктивності та негативно впливати на фізіологічні системи людини.

Світлове забруднення. Світлове забруднення є наслідком широкого використання штучного освітлення у містах, яке змінює природний рівень світлової радіації і перешкоджає нормальним добовим ритмам екосистем. Це форма фізичного забруднення, яка характеризується надмірною або неправильно спрямованою штучною світловою енергією, що веде до порушення природної інтенсивності освітленості в нічний період. Така дисфункція освітлення впливає не лише на діяльність людини (наприклад, порушення сну та циркадних ритмів), але й на поведінку тварин і функціонування екосистем. Світлове забруднення

може бути виміряне через локальні показники (наприклад, освітленість у люксах) та глобальні індекси (наприклад, яскравість нічного неба), включно з використанням супутникових даних.

У міських умовах світлове забруднення також може включати надмірні рівні штучного світла, світлові відблиски і небажані спектральні компоненти (особливо синьої частини спектра, яка має сильніший біологічний вплив), що можуть спричиняти дисбаланси в біорізноманітті, зміни добових циклів тварин і зниження якості нічного середовища.

Вібраційне забруднення. Вібрації - це механічні коливання твердого середовища, які можуть виникати внаслідок роботи важкої техніки, транспортних засобів (особливо залізничного та метро), будівельної та комунальної техніки. Вони часто класифікуються за частотними характеристиками (низькочастотні, середні, високочастотні) та за локалізацією (вібрації тіла, окремих об'єктів або локальні коливання деталей). Вібраційне забруднення не тільки створює дискомфорт для людей (втома, відчуття тиску, м'язово-скелетні реакції), але й може впливати на стійкість будівельних конструкцій та технологічне обладнання.

1.2 Наслідки впливу шуму, світла, вібрацій та електромагнітних полів на екологічний стан довкілля та здоров'я людей

Фізичні фактори антропогенного походження, такі як шум, штучне освітлення, вібрації та електромагнітні поля, здійснюють суттєвий вплив не лише на функціонування урбанізованих екосистем і екологічний стан довкілля, але й на стан здоров'я людини. Внаслідок зміни біофізичних стимулів ці фактори викликають структурні та функціональні порушення в біоценозах, порушують поведінкові та фізіологічні процеси у населення і формують соціально значущі наслідки - від погіршення якості життя до зростання ризиків хронічних захворювань.

Шумове забруднення характеризується підвищеним рівнем звукового навантаження в середовищі, який виникає через інтенсивну діяльність людини (транспорт, промисловість, будівництво). Велику увагу науковці приділяють його впливу на здоров'я людини. Так, дослідження показують, що тривале перебування в умовах підвищеного рівня шуму призводить до значних функціональних порушень: підвищення порогу чутності, розвиток професійної приглухуватості, хронічна напруга слухового аналізатора, а також супроводжується системними фізіологічними розладами - від порушення сну до серцевосудинних захворювань. Зокрема, шум у 50 дБ може значно погіршувати якість сну, збільшуючи тривалість засинання та викликаючи втому і головний біль після пробудження. Постійне шумове навантаження також асоціюється з підвищеним ризиком гіпертонії, ішемічної хвороби серця та інших серцево-судинних патологій серед мешканців зашумлених районів великих міст.

З погляду екології, шум порушує не тільки фізіологічний стан людини, але й поведінку інших живих організмів. Дослідження вказують, що надмірний шум змушує тварин уникати шумних середовищ, порушує їхню здатність до комунікації, навігації та пошуку їжі, а також може впливати на розмноження й виживання окремих видів.[15, с. 21-33]

Штучне світло вночі - важлива складова сучасного міського середовища - порушує природні добові цикли та циркадні ритми як людей, так і тварин. Згідно з низкою наукових оглядів, постійний надмір світла вночі зменшує синтез мелатоніну - гормону, що регулює біоритми та сон людини. Це призводить до розладів сну, хронічної втоми, зниження концентрації уваги й впливає на загальний психічний стан населення. Довготривале порушення циркадних ритмів також може бути пов'язане з більш високим ризиком розвитку серцево-судинних захворювань, депресії та інших хронічних станів.

Екологічні наслідки світлового забруднення поширюються і на дикі біоценози: надмірне штучне освітлення змінює добову поведінку тварин,

дезорієнтує мігруючих птахів, порушує цикли спаровування та живлення нічних комах, таких як метелики чи світлячки, і впливає на навігацію морських черепах під час виходу з гнізд у море. У низці досліджень описано суттєві зміни в структуруванні харчових мереж і зниження чисельності деяких видів унаслідок світлового забруднення.

Вібрації - механічні коливання, які поширюються через тверді поверхні - створюють у міських умовах потужні джерела впливу: рух потягів, метро, вантажний транспорт, будівельні роботи. Вони можуть викликати не лише дискомфорт чи суб'єктивні відчуття (тривога, дратівливість), а й мати об'єктивні фізіологічні ефекти. На рівні організму людини надмірні вібрації пов'язані з розладом центральної нервової системи, змінами вестибулярного апарату, м'язово-скелетними проблемами, підвищеною втомлюваністю та можливими порушеннями координації. Для тварин, особливо ґрунтових та дрібних ссавців, вібрації можуть порушувати поведінкові шаблони, життєві цикли та просторову орієнтацію, що в сукупності веде до зниження видового різноманіття у шумно-вібраційному середовищі.

Електромагнітні поля (ЕМП), які виникають від ліній електропередач, базових станцій зв'язку, Wi-Fi та побутових пристроїв, зараз є невід'ємною частиною урбанізованого середовища. Організації громадського здоров'я, включно з Всесвітньою організацією охорони здоров'я (WHO), активно досліджують можливі наслідки впливу ЕМП на здоров'я людини, включно з потенційними ризиками для серцево-судинної системи, репродуктивної функції, когнітивних здібностей і ризику розвитку ракових захворювань. WHO у рамках International EMF Project аналізує дані від 0 до 300 GHz, зауважуючи, що рівні ЕМП у навколишньому середовищі зростають через технологічний розвиток і що подальші дослідження необхідні для повного розуміння довгострокових ефектів.[20, с. 10-15]

Методи оцінки впливу зосереджуються на систематичних оглядах та мета-аналізах, що дозволяють встановити якісне та кількісне відношення між впливом радіочастот та біологічними наслідками. Незважаючи на те, що наразі прямі, однозначні підтвердження негативного впливу ЕМП на здоров'я людини при рівнях нижче міжнародних нормативів відсутні, деякі дослідження вказують на можливі асоціації з неспецифічними симптомами (головний біль, втома, порушення сну), особливо при тривалому впливі у високих діапазонах частот чи вразливих груп населення.

Шум має найпереконливіші доказові асоціації з порушеннями фізіологічних функцій людини та поведінки тварин, значно впливаючи на здоров'я та якість життя мешканців мегаполісів.

Світлове забруднення суттєво змінює добові ритми людини і поведінку біоценозів, що веде до збоїв у сні, дисбалансів у харчових ланцюгах і зменшення біорізноманіття.

Вібрації створюють фізичний стрес як для людей, так і для тварин, порушуючи механічні системи організмів і поведінку.

Електромагнітні поля потребують подальшого довгострокового вивчення стосовно своїх потенційних ефектів, хоча органи охорони здоров'я продовжують моніторинг таких впливів та розробку міжнародних стандартів.

1.3 Методи оцінки та моніторинг фізичних факторів впливу забруднення в урбанізованих територіях

Моніторинг фізичних факторів впливу на довкілля є важливим інструментом оцінки стану урбанізованих екосистем і дозволяє своєчасно виявляти підвищені рівні шуму, світлового забруднення, вібрацій та електромагнітних полів. На відміну від природних середовищ, міські екосистеми характеризуються високою щільністю джерел цих факторів, що зумовлює необхідність застосування комплексного та системного підходу до їх

дослідження. Сучасні методи оцінки поєднують інструментальні вимірювання, математичне моделювання, геоінформаційні технології та аналіз нормативно-допустимих рівнів впливу.

Моніторинг фізичних факторів впливу на довкілля розглядається як безперервний або періодичний процес спостереження за станом фізичних параметрів середовища, метою якого є виявлення перевищень гранично допустимих рівнів, аналіз просторово-часових закономірностей та оцінка ризиків для здоров'я населення і довкілля. У міських умовах він часто здійснюється в рамках систем екологічного моніторингу або спеціалізованих досліджень, спрямованих на окремі фактори впливу.

Оцінка шумового забруднення базується насамперед на інструментальних акустичних вимірюваннях, що проводяться за допомогою шумомірів та аналізаторів спектра. Основними параметрами, які фіксуються під час досліджень, є еквівалентний рівень шуму (L_{Aeq}), максимальний рівень (L_{max}), мінімальний рівень (L_{min}), а також добові індекси L_{den} та L_{night} , які широко використовуються в країнах Європейського Союзу для оцінки впливу шуму на населення. Вимірювання здійснюються у характерних точках міського простору - поблизу транспортних магістралей, житлових кварталів, промислових зон та рекреаційних територій.[2, с. 3-6]

Окрім польових вимірювань, важливу роль відіграє акустичне моделювання, яке дозволяє прогнозувати поширення шуму в просторі з урахуванням рельєфу, щільності забудови, типу дорожнього покриття та інтенсивності руху транспорту. Такі моделі широко застосовуються при розробці карт шумового навантаження міст і використовуються як інструмент екологічного планування. В Європі ці підходи регламентуються Директивою 2002/49/ЄС про оцінку та управління рівнями шуму в навколишньому середовищі, що є орієнтиром і для наукових досліджень у сфері урбаністичної екології.

Світлове забруднення оцінюється за допомогою наземних, дистанційних та модельних методів. Наземні вимірювання включають визначення рівнів освітленості (у люксах), яскравості поверхонь та спектрального складу штучного світла за допомогою люксометрів і спектрометрів. Ці дані дозволяють оцінити відповідність освітлення санітарним нормам та виявити зони надмірного світлового навантаження.

Водночас особливого значення в сучасних дослідженнях набули супутникові методи, які дають змогу аналізувати просторове поширення світлового забруднення в масштабах міста, регіону або країни. Дані з супутників (зокрема, серій VIIRS та DMSP) використовуються для створення карт нічної яскравості, що дозволяє порівнювати рівні світлового забруднення між різними містами та відстежувати їх динаміку в часі. Такі методи є надзвичайно ефективними для комплексної оцінки урбанізованих територій і широко застосовуються в європейських екологічних дослідженнях.

Вібраційне забруднення оцінюється шляхом вимірювання механічних коливань у ґрунті, будівельних конструкціях або безпосередньо на робочих поверхнях. Основними параметрами є амплітуда, частота та прискорення вібрацій, які вимірюються за допомогою віброметрів та акселерометрів. Такі дослідження особливо актуальні у зонах інтенсивного транспортного руху, поблизу залізничних колій, метрополітену та будівельних майданчиків.

Оцінка вібрацій часто поєднується з аналізом їх впливу на людину та будівлі, що передбачає порівняння отриманих даних з гігієнічними нормативами та інженерними критеріями стійкості. У міських умовах вібраційний моніторинг має прикладне значення не лише з точки зору екології, а й для забезпечення безпеки інфраструктури та комфортності проживання населення.

Оцінка електромагнітних полів здійснюється шляхом вимірювання напруженості електричного та магнітного поля, а також щільності потоку енергії у відповідних частотних діапазонах. Вимірювання проводяться стаціонарними

або переносними приладами в зоні впливу джерел - поблизу ліній електропередач, трансформаторних підстанцій, базових станцій мобільного зв'язку та житлових будинків.

У практиці екологічного моніторингу особливу увагу приділяють порівнянню отриманих значень з національними та міжнародними нормативами, зокрема рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я та Міжнародної комісії з захисту від неіонізуючих випромінювань (ICNIRP). Оскільки електромагнітне забруднення має переважно невидимий характер, регулярний моніторинг є необхідним елементом управління екологічними ризиками в сучасних містах.

Сучасні підходи до оцінки фізичного забруднення дедалі частіше ґрунтуються на комплексному аналізі, який поєднує дані про шум, світло, вібрації та електромагнітні поля. Для інтеграції великої кількості просторової інформації широко застосовуються геоінформаційні системи (ГІС), що дозволяють створювати карти фізичного навантаження, визначати зони підвищеного екологічного ризику та обґрунтовувати заходи з оптимізації міського середовища.

Використання ГІС у поєднанні з інструментальними вимірюваннями та математичним моделюванням забезпечує наукову обґрунтованість екологічних оцінок і створює основу для розробки стратегій сталого розвитку міст, зокрема таких, як Варшава, де проблема фізичного забруднення є актуальною через високу урбанізацію та транспортну інтенсивність.

1.4 Нормативно-правове регулювання фізичних факторів впливу в Україні та країнах ЄС

Нормативно-правове регулювання впливу фізичних факторів на довкілля та здоров'я населення є важливим елементом екологічної політики кожної держави. У сучасних умовах урбанізації, фізичні фактори - шум, світло, вібрації та електромагнітні поля - набувають особливого значення, що зумовлює

необхідність постійного вдосконалення нормативної бази як на національному, так і на наднаціональному рівнях. Особливості регулювання в Україні та країнах Європейського Союзу дають змогу окреслити спільні риси, відмінності та перспективи гармонізації екологічного законодавства.

В Україні регулювання фізичних факторів впливу на довкілля та людину ґрунтується на поєднанні екологічного, санітарного та містобудівного законодавства. Базовими нормативними документами є Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», а також численні державні санітарні норми і правила (ДСН, ДСП). Основний акцент української системи регулювання робиться на дотриманні гранично допустимих рівнів (ГДР) фізичних факторів у місцях проживання та перебування населення.

У країнах Європейського Союзу нормативно-правове регулювання фізичного забруднення має більш комплексний і системний характер. Воно поєднує обов'язкові директиви ЄС, національні законодавства держав-членів та рекомендації міжнародних організацій, зокрема Всесвітньої організації охорони здоров'я. Європейський підхід орієнтований не лише на фіксацію перевищень нормативів, але й на управління ризиками, просторове планування та запобігання негативним наслідкам ще на етапі проєктування міського середовища.

Шумове забруднення є найбільш регламентованим фізичним фактором як в Україні, так і в країнах ЄС. В Україні допустимі рівні шуму визначені Державними санітарними нормами, які встановлюють граничні значення для денного та нічного часу у житлових, громадських і рекреаційних зонах. Наприклад, у житлових приміщеннях у нічний час допустимий рівень шуму не повинен перевищувати 45 дБА, що відповідає базовим рекомендаціям ВООЗ.[10, пункт 3]

У Європейському Союзі ключовим нормативним актом є Директива 2002/49/ЕС про оцінку та управління рівнями шуму в навколишньому

середовищі, яка запровадила обов'язкове створення стратегічних карт шуму для великих міст, транспортних коридорів і аеропортів. На відміну від української практики, де переважає контроль окремих точкових вимірювань, у ЄС використовується просторовий підхід, що дозволяє оцінювати шумове навантаження на населення в масштабах усієї міської території. Крім того, директива передбачає розробку планів дій зі зниження шуму, що є інструментом довгострокового управління акустичним середовищем.

Світлове забруднення в Україні на нормативному рівні регулюється обмежено. Основні вимоги стосуються норм освітленості робочих місць, житлових приміщень і вулиць, проте екологічний аспект надмірного нічного освітлення практично не відображений у законодавстві. Відсутні спеціалізовані нормативи щодо яскравості нічного неба, спектрального складу освітлення або впливу штучного світла на біорізноманіття.

Натомість у країнах ЄС проблема світлового забруднення поступово інтегрується в екологічну політику. Хоча єдиної обов'язкової директиви щодо світлового забруднення не існує, багато країн Європи впроваджують національні стандарти та рекомендації, спрямовані на зменшення надлишкового освітлення, використання енергоефективних світильників і обмеження синьої частини спектра. Європейські екологічні стратегії дедалі частіше розглядають світлове забруднення як фактор, що впливає на екосистеми та якість життя населення, особливо в контексті збереження міського біорізноманіття.

В Україні вібраційне забруднення регламентується переважно в контексті охорони праці та санітарних умов проживання. Норми встановлюють допустимі рівні вібрацій для робочих місць і житлових будівель, з урахуванням частоти та тривалості впливу. Проте системний моніторинг вібрацій у міському середовищі залишається недостатньо розвиненим.

У країнах ЄС вібраційний вплив регулюється як у сфері охорони праці, так і в межах комплексної оцінки впливу транспортної та інфраструктурної

діяльності. Європейські стандарти приділяють значну увагу впливу вібрацій на будівлі, інженерні споруди та комфорт проживання населення, що особливо актуально для густозаселених міст.

Регулювання електромагнітних полів в Україні базується на гігієнічних нормативах, які визначають гранично допустимі рівні напруженості електричного та магнітного поля для населення. Ці нормативи загалом відповідають рекомендаціям ВООЗ, проте контроль їх дотримання часто має фрагментарний характер.

У Європейському Союзі більшість країн орієнтується на рекомендації Міжнародної комісії з захисту від неіонізуючих випромінювань (ICNIRP). При цьому в окремих державах застосовуються більш жорсткі нормативи з урахуванням принципу обережності. Європейський підхід також передбачає інформування населення, прозорість даних моніторингу та врахування електромагнітного навантаження при плануванні міської інфраструктури.

Таким чином, порівняльний аналіз показує, що українська система нормативно-правового регулювання фізичного забруднення здебільшого зосереджена на санітарних нормах і контролі гранично допустимих рівнів. У країнах Європейського Союзу, натомість, переважає комплексний підхід, орієнтований на просторове планування, управління ризиками та довгострокове зниження впливів.

Для України актуальним є поступове наближення нормативної бази до європейських стандартів, зокрема шляхом впровадження карт фізичного забруднення, планів управління та розширення екологічного моніторингу в містах.

Висновки до розділу 1

У першому розділі кваліфікаційної роботи досліджено теоретико-методичні засади впливу фізичних факторів на міське середовище. Узагальнення сучасних

наукових підходів дозволило визначити місце фізичних факторів у структурі антропогенного навантаження та обґрунтувати їх значення як одного з ключових чинників формування екологічного стану міст.

Встановлено, що шум, світлове забруднення, вібрації та електромагнітні поля є невід'ємними складовими урбанізованого середовища та характеризуються значною просторовою і часовою мінливістю. Їх вплив має комплексний характер і проявляється як у погіршенні стану здоров'я населення, так і у змінах функціонування міських екосистем.

Аналіз екологічних наслідків засвідчив, що тривалий вплив фізичних факторів може спричиняти порушення фізіологічного та психоемоційного стану людини, зниження якості життя, а також негативно впливати на біоту міських територій. Це підтверджує необхідність комплексного дослідження фізичного забруднення та оцінки його сукупного впливу.

Узагальнення методів оцінки та моніторингу показало, що найбільш ефективними є комплексні підходи, які поєднують інструментальні вимірювання, математичне моделювання та використання геоінформаційних систем. Такі методи дозволяють визначати просторові закономірності поширення фізичних факторів і виявляти території підвищеного екологічного ризику.

Порівняльний аналіз нормативно-правового регулювання в Україні та країнах Європейського Союзу засвідчив, що європейські підходи є більш комплексними та орієнтованими на попередження негативного впливу фізичних факторів. Це свідчить про необхідність подальшого вдосконалення національної системи управління фізичним забрудненням і гармонізації українського законодавства з європейськими стандартами.

Отже, результати першого розділу формують теоретичне та методичне підґрунтя для подальшого аналізу фізичного забруднення міського середовища та проведення комплексної оцінки впливу фізичних факторів на екологічний стан міста Варшава..

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ НАВАНТАЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ У МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ ВАРШАВИ

2.1 Екологогеографічна характеристика міста Варшава

Аналіз навантаження фізичних факторів у міському середовищі Варшави дозволяє оцінити рівень техногенного впливу на довкілля та якість життя населення. У межах даного розділу теоретичні положення, сформульовані в попередньому розділі, застосовуються для оцінки реального стану фізичних факторів у конкретних просторових та соціально-економічних умовах великого міста. Такий підхід дозволяє поєднати загальнонаукові уявлення про фізичне забруднення з особливостями функціонування міського середовища та сформувати цілісне бачення екологічних проблем урбанізованих територій.

Варшава як об'єкт дослідження характеризується високим рівнем урбанізації, інтенсивним транспортним рухом, значною щільністю населення та розвиненою інженерною інфраструктурою. Поєднання історично сформованої міської структури з сучасними процесами просторового розвитку зумовлює складний характер формування фізичних факторів, що проявляється у просторовій неоднорідності їх розподілу та різному ступені впливу на окремі райони міста. Географічне положення, особливості природних умов та характер землекористування відіграють важливу роль у поширенні шуму, світлового забруднення, вібрацій та електромагнітних полів у межах міської території.

Аналіз фізичного навантаження у Варшаві ґрунтується на виявленні основних джерел антропогенних фізичних факторів та оцінці їхніх рівнів з урахуванням просторової структури міста. Транспортні системи, об'єкти міської інфраструктури, системи штучного освітлення, а також енергетичні та

телекомунікаційні мережі формують багатокомпонентне фізичне середовище, яке безпосередньо впливає на якість життя населення та екологічний стан міських екосистем. У таких умовах фізичні фактори розглядаються не як ізольовані впливи, а як взаємопов'язані елементи комплексного антропогенного навантаження.

Важливим аспектом аналізу є просторовий підхід, який дозволяє оцінити розподіл фізичних факторів у межах міста та визначити зони підвищеного екологічного ризику. Просторова диференціація фізичного навантаження відображає функціональну структуру міста, рівень транспортної доступності, щільність забудови та характер використання територій. Такий аналіз створює основу для оцінки комфортності проживання населення та виявлення територій, що потребують першочергових заходів екологічного управління.

Окрему аналітичну цінність становить зіставлення рівнів фізичного забруднення у Варшаві з показниками окремих міст України, що дозволяє розширити дослідження за межі одного міста та розглянути проблему фізичного навантаження в ширшому регіональному контексті. Порівняльний підхід дає змогу виявити вплив різних моделей міського розвитку, транспортної організації та нормативно-правового регулювання на формування фізичних факторів у міському середовищі.

Місто Варшава, столиця Республіки Польща, розташоване в центральній частині Польщі та є найбільшим політикоадміністративним, економічним і культурним центром країни. В географічному відношенні місто розміщене в межах Середньоевропейської рівнини зумовлює відносно однорідні природні умови, які зазнали значної трансформації внаслідок тривалого антропогенного впливу. Як типове велике місто рівнинної зони, Варшава характеризується високою концентрацією населення, розвиненою транспортною мережею та складною просторовою структурою, що безпосередньо впливає на формування фізичного навантаження у міському середовищі.

Територія Варшави простягається вздовж річки Вісли, яка є головною водною артерією міста та важливим природним елементом його екологічного каркасу. Річкова долина формує особливі мікрокліматичні умови, впливає на повітрообмін і просторовий розподіл забудови. Заплавні та надзаплавні тераси Вісли, а також прилеглі зелені зони відіграють роль природних буферів, що частково знижують інтенсивність шумового й теплового навантаження та створюють локальні зони екологічного комфорту. Водночас щільна забудова центральних районів обмежує природну вентиляцію та сприяє акумуляції фізичних факторів, зокрема шуму і світлового забруднення.

Рельєф території міста загалом рівнинний, з незначними абсолютними перепадами висот, що є типовим для центральної Польщі. Відсутність значних орографічних бар'єрів сприяє відносно вільному поширенню звукових хвиль і електромагнітних полів у міському просторі. За таких умов визначальну роль у просторовому розподілі фізичних факторів відіграють антропогенні елементи - щільність забудови, тип дорожньої мережі, висотність будівель та характер землекористування.

Клімат Варшави помірно континентальний із чітко вираженою сезонністю. Середньорічна температура повітря становить близько +9 °С, а кількість опадів - у межах 500– 550 мм на рік. Кліматичні умови впливають на інтенсивність фізичних факторів, зокрема на поширення шуму та ефективність штучного освітлення. У зимовий період, за умов температурних інверсій і зменшеної швидкості вітру, можливе посилення акустичного навантаження та зниження розсіювання фізичних впливів. У літній період збільшення тривалості світлового дня та активне використання штучного освітлення у вечірній і нічний час підсилюють проблему світлового забруднення.

Структура землекористування Варшави є неоднорідною та відображає функціональний поділ міського простору. Значні площі займають житлові квартали різної щільності забудови, транспортні коридори, промислові та

складські зони, а також зелені насадження загальноміського та районного значення. Така мозаїчність території сприяє формуванню контрастних за рівнем фізичного навантаження зон. Транспортні магістралі, вузли громадського транспорту та райони з інтенсивною діловою активністю є основними осередками шуму, вібрацій і світлового забруднення, тоді як парки, сквери та прибережні території виконують компенсаторну екологічну функцію.

Варшава вирізняється розвиненою транспортною інфраструктурою, яка включає автомобільні магістралі, залізничні лінії, метрополітен і розгалужену мережу громадського транспорту. Саме транспортна система є одним з ключових чинників формування фізичного навантаження в місті, зокрема шумового та вібраційного. Водночас концентрація інженерних мереж, ліній електропередач і телекомунікаційних об'єктів зумовлює наявність електромагнітних полів різної інтенсивності, що є характерною рисою сучасного мегаполіса.

З екологогеографічної точки зору Варшава є прикладом міста, у якому природні компоненти середовища тісно переплетені з техногенними елементами. Така взаємодія формує специфічні умови для поширення фізичних факторів і визначає необхідність їх комплексного аналізу з урахуванням просторової структури, природних передумов і характеру антропогенного навантаження. Саме ці особливості створюють основу для подальшого дослідження рівнів фізичного забруднення та оцінки їхнього впливу на якість міського середовища Варшави.

2.2 Основні джерела та рівні фізичних факторів у місті (шум, світло, вібрація, електромагнітні поля)

У міському середовищі Варшави фізичні фактори антропогенного походження формують складну сукупність енергетичних впливів, що безпосередньо залежать від функціонування транспортної, інженерної та інформаційної інфраструктури. Основними джерелами таких факторів є транспортні потоки (автомобільний, залізничний та авіаційний рух), міські

системи штучного освітлення, об'єкти енергетичного та комунікаційного забезпечення, а також будівельна діяльність.

У Варшаві одним із домінуючих фізичних факторів є акустичне навантаження. Дослідження та оцінки місцевих експертів показують, що середні показники еквівалентного рівня шуму в центральних районах перевищують рекомендовані значення для комфортного міського середовища. Наприклад, реєстр вимірювань демонструє середній рівень шуму близько 65–68 дБА у житлових і ділових зонах, що істотно перевищує рекомендовані 55 дБА для денного часу за стандартами ВООЗ і Директивами ЄС. У деяких точках, зокрема поблизу інтенсивних транспортних артерій та станцій метро, рівні можуть сягати 80 дБА і більше, що відповідає шумовому навантаженню на рівні спортивних заходів чи важкої техніки.[13, с.32]

Головним джерелом шумового забруднення у Варшаві є транспорт: автомобільний рух, громадський транспорт та метро формують постійний фон звукового тиску. Литовище імені Фредеріка Шопена також сприяє локальним піковим рівням шуму в прилеглих районах, особливо під маршрутами підльоту і зльоту літаків. Структура основних джерел шумового забруднення у міському середовищі наведена на рис. 2.1.

Штучне нічне освітлення у Варшаві є ще одним значущим джерелом фізичного забруднення. Системи вуличних ліхтарів, рекламних щитів, фасадного підсвічування та освітлення автошляхів створюють високі рівні яскравості та суттєво перевищують природний рівень нічного темного неба. За даними світових астрономічних карт, понад 99% населення Європи (включно із Варшавою) мешкає під умовами штучного нічного освітлення, що приховує природну картину нічного неба та призводить до значного світлового смогу.

Основними джерелами світлового забруднення у місті є магістралі з інтенсивним транспортним рухом, великі перехрестя, промислові та комерційні об'єкти з яскравими фасадами, а також зовнішня реклама. У центральних

районах та ділових кварталах рівні штучного освітлення протягом ночі можуть бути в кілька разів вищими за природний рівень, що негативно впливає на добові ритми людини та біоритми інших живих організмів.

Вібрації у Варшаві формуються насамперед транспортними джерелами - рухом потягів, метрополітену, важких вантажівок та громадського транспорту. Хоча систематичних публічних моніторингових даних про рівні вібрацій у місті немає в доступних джерелах, польові вимірювання в подібних мегаполісах Центральної Європи демонструють, що вібраційні прискорення у житлових та громадських зонах поблизу транспортних магістралей часто перевищують $0,5-1,0$ m/s^2 у пікові години, що може негативно впливати на комфорт проживання та конструкційну стійкість окремих будівель. Вібрації також створюють додатковий стресовий фактор для населення, особливо в районах з інтенсивним транспортним трафіком.[9, с.12]

Також будівельні роботи, ремонтні ділянки та інженерні споруди є локальними джерелами вібрацій, які вимагають окремого моніторингу, особливо в центральних частинах міста та в історичних кварталах, де щільність забудови є високою.

Електромагнітні поля у міському середовищі Варшави виникають через роботу широкого спектра техногенних джерел, зокрема ліній електропередач, базових станцій мобільного зв'язку, Wi-Fi-мереж, радіотелевізійних передавачів і побутових електроприладів. Моніторингові дані щодо конкретних рівнів ЕМП у Варшаві є обмеженими, але доступна інформація щодо Польщі в цілому свідчить, що середнє значення напруженості електричного поля в українських і польських містах часто становить близько $0,3-0,5$ В/м, що значно нижче нормативних обмежень (наприклад, близько 7 В/м для місць доступних населенню).

Джерелами ЕМП у містах є, перш за все, радіочастотні випромінювання від мобільних мереж та бездротових комунікаційних систем, а також електричні лінії живлення (частота 50 Гц), що створює ЕМП у наднизькочастотному діапазоні.

Хоча рівні ЕМП зазвичай не перевищують допустимі нормативи, їхня присутність у щільно забудованих районах є сталим фактором фізичного навантаження, особливо враховуючи тенденцію до зростання щільності бездротових мереж у центральних частинах міста.

2.3 Просторовий розподіл фізичних факторів та їхній вплив на якість міського середовища

Просторовий розподіл фізичних факторів у межах міста Варшава формується під впливом транспортної структури, функціонального зонування та щільності техногенної інфраструктури. На відміну від природних чинників, фізичні забруднення мають чітку прив'язку до конкретних джерел і коридорів поширення, що дозволяє виділити зони підвищеного екологічного ризику та території відносно комфортного середовища проживання.

Шумове навантаження у Варшаві найбільш виражене вздовж основних транспортних осей міста. До таких зон належать, зокрема, *Aleje Jerozolimskie*, *Trasa L azienkowska*, *Wis lostrada*, а також кільцеві дороги *S2* та *S8*, де середньодобові рівні шуму стабільно перевищують 65–70 дБА. За даними стратегічних шумових карт Варшави, найбільший вплив транспортного шуму спостерігається у районах *Srodmiesci*, *Wola*, *Ochota* та *Praga-po ludnie*, де щільність дорожньої мережі поєднується з багатоповерховою житловою забудовою. У таких умовах шум поширюється не лише вздовж магістралей, а й углиб кварталів, що знижує акустичний комфорт житлових територій.

Окремим фактором формування акустичного навантаження є залізнична інфраструктура та метрополітен. Райони, прилеглі до залізничних ліній (зокрема *Wola*, *Praga-Po' Inoc*, *Targo'wek*), зазнають регулярного імпульсного шуму та вібрацій, особливо у нічний час. Також локальні зони підвищеного шумового впливу формуються поблизу аеропорту імені Фредеріка Шопена, де рівні шуму під час зльоту й посадки літаків перевищують фонові значення на 15–25 дБА, що істотно впливає на якість життя населення прилеглих районів.

Світлове забруднення у Варшаві має виражену концентрацію у центральних та комерційно активних частинах міста. Найвищі рівні штучної яскравості спостерігаються у районах *Sro'dmie'scie* , *Wola* та *Mokoto'w*, де зосереджені ділові центри, торговельні комплекси, офісні будівлі та інтенсивне фасадне освітлення. Значний внесок у формування світлового фону роблять великі транспортні розв'язки та мости через Віслу, зокрема *Most L azienkowski* та *Most Swie,tokrzyski* , які освітлюються протягом усієї ночі. У результаті формується стійкий «світловий купол» над центральною частиною міста, який поширюється на прилеглі райони та зменшує природну нічну темряву навіть у зелених зонах.

Вібраційне навантаження має більш локалізований, але технічно значущий просторовий характер. Найбільш вразливими є території вздовж ліній метрополітену та залізничних колій, де вібрації передаються через ґрунтові масиви та фундаменти будівель.[21, с.312-315]

У районах *Wola* та *Praga-P'o Inoc* зафіксовано випадки скарг мешканців на вібраційний дискомфорт, пов'язаний із рухом поїздів та інтенсивним вантажним транспортом. Додатковими осередками вібрацій є зони активного будівництва, особливо у центральних районах, де реконструкція міського простору супроводжується використанням важкої техніки.

Електромагнітні поля у Варшаві мають дифузний просторовий розподіл, проте підвищені значення фіксуються у районах з високою концентрацією інженерних і телекомунікаційних об'єктів. До таких зон належать центральні ділові квартали, транспортні вузли та райони з густою мережею базових станцій мобільного зв'язку. Поблизу ліній електропередач і трансформаторних підстанцій, зокрема на околицях міста та у промислових зонах, формується локальне електромагнітне навантаження низькочастотного діапазону. Хоча зафіксовані рівні ЕМП, як правило, не перевищують нормативні значення, їх

тривалий фоновий вплив розглядається як складова сумарного фізичного навантаження міського середовища.

Узагальнюючи, можна зазначити, що просторовий розподіл фізичних факторів у Варшаві формує мозаїчну структуру екологічної якості міського середовища. Центральні та транспортно навантажені райони характеризуються поєднанням підвищених рівнів шуму, світлового забруднення, вібрацій та електромагнітних полів, що знижує комфортність проживання. Натомість зелені зони, прибережні території Вісли та периферійні житлові квартали виконують стабілізуючу функцію, зменшуючи негативний вплив фізичних факторів і підвищуючи загальний рівень екологічної стійкості міста.

2.4 Вплив фізичного навантаження на здоров'я людей, зелені насадження та урбанізовані екосистеми

Фізичні фактори антропогенного походження є важливими складовими міського середовища, що безпосередньо впливають як на стан здоров'я населення, так і на функціонування урбанізованих екосистем. У межах великих міст, зокрема Варшави, підвищені рівні шуму, світлового забруднення, вібрацій та електромагнітних полів формують комплексне фізичне навантаження, яке має багатокомпонентний і тривалий характер впливу.

Одним із найбільш значущих факторів є шумове забруднення. Постійний вплив шуму, рівень якого перевищує рекомендовані значення, призводить до порушень функціонування нервової системи, зниження концентрації уваги та підвищення рівня стресу. Особливо негативно шум впливає на якість сну, що, у свою чергу, може спричинити хронічну втому, підвищення артеріального тиску та розвиток серцево-судинних захворювань. У районах з інтенсивним транспортним рухом ці ефекти проявляються найбільш виражено.

Світлове забруднення також має суттєвий вплив на здоров'я людини. Надмірне штучне освітлення у нічний час порушує природні біоритми організму, зокрема синтез мелатоніну, що регулює цикл сну і неспання. Це може призводити

до безсоння, гормональних порушень та зниження загальної стійкості організму до стресових факторів. Крім того, світлове забруднення негативно впливає на психоемоційний стан населення.

Вібраційне навантаження, яке виникає внаслідок руху транспорту, роботи будівельної техніки та функціонування інженерної інфраструктури, також має негативний вплив на організм людини. Тривалий вплив вібрацій може викликати порушення опорнорухового апарату, негативно впливати на серцево-судинну систему та загальний фізіологічний стан організму. У житлових зонах, розташованих поблизу транспортних магістралей або залізничних колій, цей фактор є особливо актуальним.

Електромагнітні поля, джерелами яких є лінії електропередач, базові станції мобільного зв'язку та електронні пристрої, також розглядаються як потенційно небезпечний фактор. Хоча у більшості випадків їх рівні не перевищують встановлені нормативи, тривалий вплив навіть низьких інтенсивностей може мати кумулятивний ефект, що потребує подальших досліджень.

Вплив фізичних факторів поширюється не лише на людину, але й на компоненти міських екосистем. Зелені насадження, які виконують важливі екологічні функції, можуть зазнавати негативного впливу шуму, світлового забруднення та вібрацій. Наприклад, постійний шум впливає на поведінку птахів, змінює їхні комунікаційні сигнали та може призводити до зменшення чисельності окремих видів. Світлове забруднення порушує природні цикли розвитку рослин, впливає на процеси фотоперіодизму та може змінювати строки цвітіння і листопаду.

У межах міста Варшава це проявляється, зокрема, у центральних районах та вздовж транспортних магістралей, де спостерігається зниження екологічної стійкості зелених насаджень. Водночас у парках і рекреаційних зонах із нижчим

рівнем фізичного навантаження рослинність зберігає кращий стан, що підтверджує важливість просторової диференціації впливу.

Урбанізовані екосистеми в цілому також реагують на комплексний вплив фізичних факторів. Порушення природних процесів, зміни у видовому складі біоти, зниження рівня біорізноманіття - усе це є наслідком тривалого антропогенного впливу. Фізичні фактори часто діють одночасно, посилюючи ефект один одного, що ускладнює процеси адаптації екосистем до умов міського середовища.

Таким чином, фізичне навантаження є важливим чинником, який визначає якість міського середовища та рівень екологічної безпеки. Його вплив має комплексний характер і охоплює як соціальні, так і природні компоненти міської системи. Це обумовлює необхідність впровадження ефективних заходів щодо зниження негативного впливу фізичних факторів, що буде розглянуто у наступних підрозділах роботи.

2.5 Порівняння рівнів фізичного забруднення у Варшаві та окремих містах України (Київ, Львів, Тернопіль)

Порівняльний аналіз рівнів фізичного забруднення у Варшаві та містах України дозволяє виявити спільні закономірності формування фізичного навантаження в урбанізованих територіях, а також окреслити відмінності, зумовлені масштабами міського розвитку, транспортною інфраструктурою та рівнем екологічного управління. Для порівняння обрано міста різного ієрархічного рівня - Київ як мегаполіс, Львів як велике історичне місто та Тернопіль як середнє за розмірами обласне місто.

Шумове забруднення у Варшаві та Києві має подібну природу та структуру, проте відрізняється за інтенсивністю та просторовою організацією. У Варшаві середні рівні шуму в центральних і транспортно навантажених районах становлять 65–70 дБА, що перевищує рекомендації Всесвітньої організації охорони здоров'я, але супроводжується наявністю шумових карт, захисних

екранів та регульованих зон обмеження швидкості. У Києві ж рівні шуму вздовж основних магістралей (проспекти Перемоги, Бажана, Наддніпрянське шосе) часто сягають 70–75 дБА, а в окремих точках перевищують 80 дБА, при цьому системний контроль і просторове планування шумозахисту є менш розвиненими. Це призводить до більшого акустичного навантаження на житлові квартали, особливо в районах із щільною забудовою.

Львів характеризується іншим типом шумового забруднення, пов'язаним насамперед із вузькими вулицями історичного центру та щільним транспортним рухом. Тут локальні рівні шуму можуть перевищувати 65–70 дБА, однак поширення шуму обмежується компактністю центральної частини міста. Тернопіль, у свою чергу, має значно нижчі середні рівні шуму - переважно в межах 55–60 дБА, що пов'язано з меншою інтенсивністю транспортних потоків і нижчою щільністю забудови.

Світлове забруднення у Варшаві є більш масштабним і системним порівняно з українськими містами. Центральні райони Варшави формують потужний світловий купол, який охоплює значну частину міста та прилеглі території. У Києві світлове забруднення також є значним, особливо в центральних районах і вздовж великих транспортних коридорів, проте характеризується меншою однорідністю та часто нераціональним розміщенням джерел освітлення. Львів демонструє високі рівні декоративного та фасадного освітлення історичних об'єктів, що створює локальні осередки світлового перевантаження, тоді як у Тернополі рівень штучного нічного освітлення є порівняно низьким, а світлове забруднення має фрагментарний характер.

Вібраційне навантаження у Варшаві й Києві є співставним за характером, але різним за масштабом. У Варшаві основними джерелами вібрацій є метрополітен, залізничні лінії та інтенсивний автомобільний рух, при цьому будівельні норми передбачають обмеження вібраційного впливу на житлову забудову. У Києві вібрації часто поєднуються з незадовільним станом дорожнього

покриття, що підсилює негативний ефект, особливо вздовж маршрутів громадського транспорту. У Львові та Тернополі вібраційне навантаження має локальний характер і пов'язане переважно з транспортом та будівельними роботами, не формуючи стабільного фону.

Електромагнітне навантаження в усіх розглянутих містах перебуває в межах нормативних значень, однак має різну просторову концентрацію. У Варшаві щільна мережа базових станцій мобільного зв'язку формує рівномірний фоновий рівень ЕМП, що контролюється в межах державних програм моніторингу. У Києві розміщення джерел ЕМП часто є менш упорядкованим, що призводить до локальних зон підвищеної напруженості електромагнітного поля. У Львові та Тернополі рівні ЕМП загалом нижчі через меншу щільність інженерної інфраструктури та нижчу інтенсивність бездротових мереж.

Загалом порівняльний аналіз свідчить, що Варшава характеризується вищим сумарним фізичним навантаженням, ніж більшість міст України, проте має більш ефективні механізми просторового планування, моніторингу та управління фізичними факторами. Українські міста, особливо Київ, демонструють подібні або навіть вищі локальні рівні фізичного забруднення, але з меншою системністю їх контролю. Водночас міста середнього розміру, такі як Тернопіль, зберігають відносно сприятливі умови фізичного середовища, що підкреслює важливість превентивного екологічного планування на ранніх етапах урбаністичного розвитку.

2.6 Візуалізація даних: карти, графіки та таблиці показників фізичного забруднення

Карта шумового забруднення (акустична карта).

Основні дані доступні в офіційному геопорталі міста Варшава: *Strategiczna mapa ha lasu / Mapa akustyczna m.st. Warszawy*.

Онлайн-огляд: портал *Warszawa 19115* → сторінка *Mapa akustyczna m.st. Warszawy*.

Карта світлового забруднення.

Для світлового забруднення можна використовувати глобальні карти, що базуються на супутникових даних (VIIRS, World Atlas). Наприклад: *Light Pollution Map* (lightpollutionmap.info).

Графіки

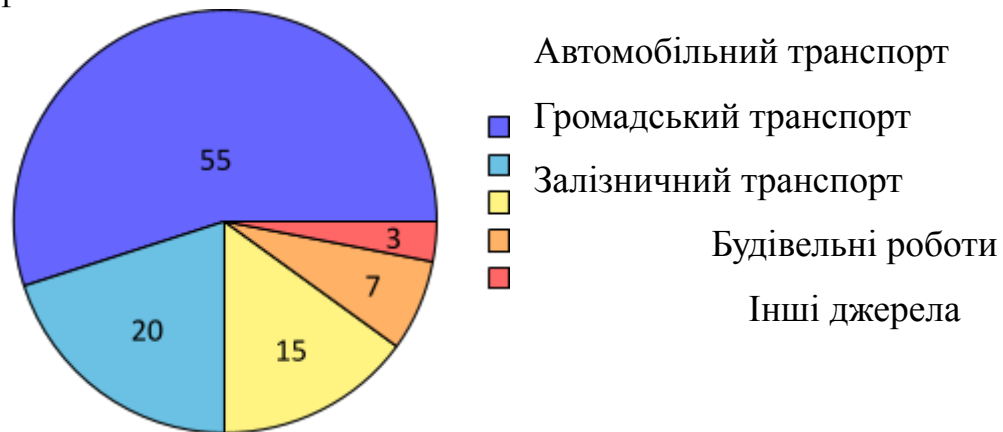


Рис. 2.1: Структура джерел шуму у міському середовищі (частка, %)

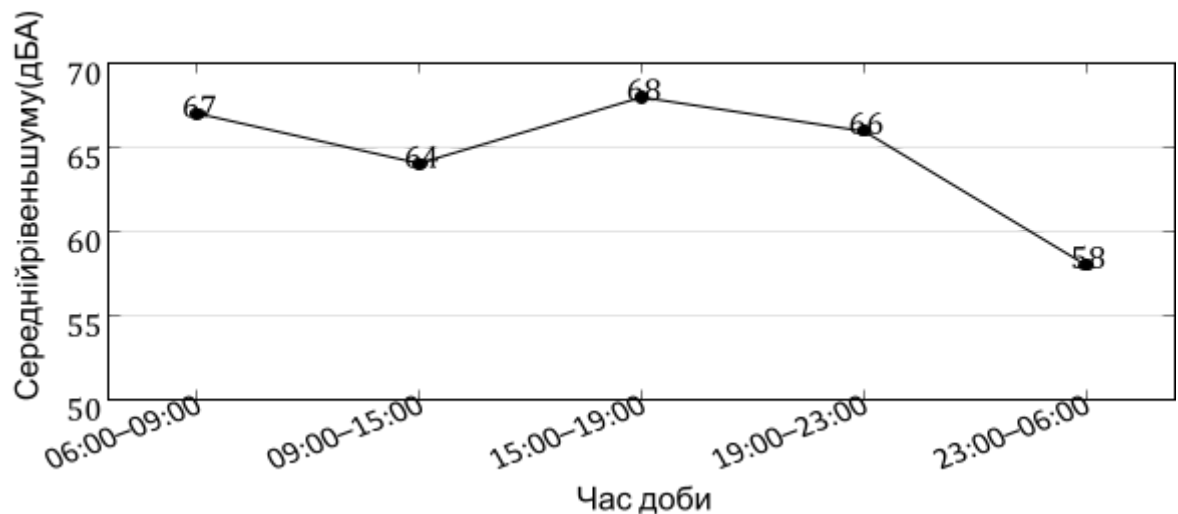
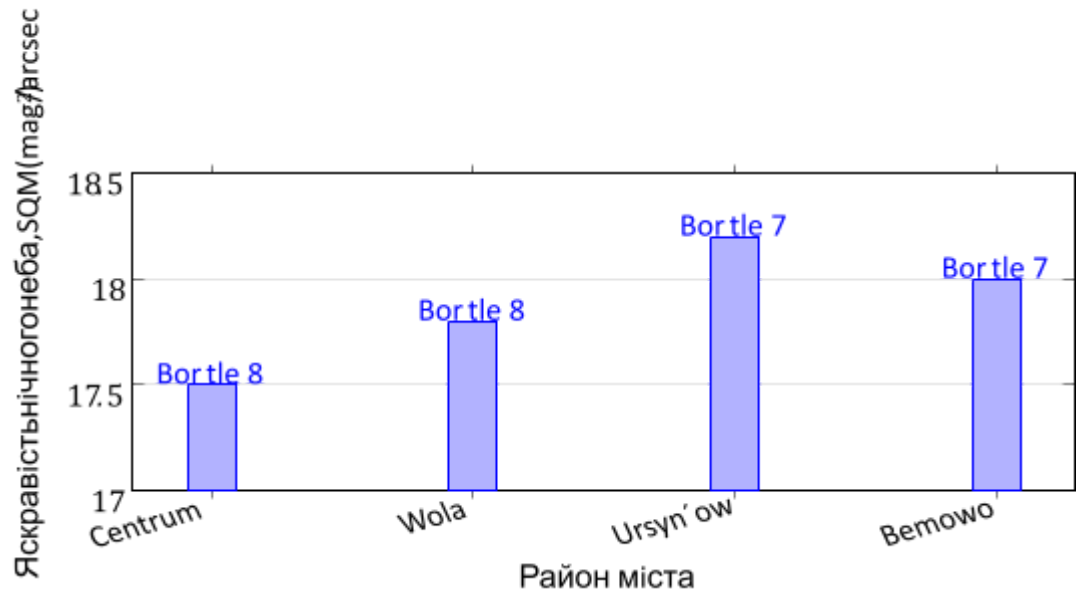


Рис. 2.2 Середній рівень шуму у Варшаві за інтервалами доби



**Рис. 2.3 Оцінка яскравості нічного неба (SQM) у
вибраних районах Варшави**

Таблиця 2.1

**Орієнтовні рівні шуму та основні джерела акустичного навантаження у
вибраних локаціях Варшави**

Район / Об'єкт	Рівень шуму (дБА)	Джерело навантаження
Aleje Jerozolimskie	70–75	Автомобільний транспорт
Trasa L azienkowska	68–72	Авто магістраль
Metro Centrum (станція)	78–80	Громадський транспорт
Ursyn'ow (житлова зона)	55–60	Локальний рух
Wola (житлова зона)	60–65	Транспорт, трамвай

*Складено за власними розрахунками

Таблиця 2.2

**Орієнтовні характеристики електромагнітного навантаження (ЕМП)
для типових джерел у міському середовищі**

Джерело	Середня інтенсивність ЕМП (В/м)	Тип	Відстань до житлових буд.
Баз. Станція GSM	~0.2–0.5	Радіочастота	<50 м
Лінія 110 kV	~0.5–1.0	Низькочастота	100–300 м
Wi-Fi вузол великий	~0.3–0.7	Бездротовий	<30 м

Висновки до Розділу 2

Проведений аналіз фізичного навантаження у міському середовищі Warsaw показав, що рівні шуму, світлового забруднення, вібрацій та електромагнітних полів мають чітко виражений просторовий характер і безпосередньо пов'язані з транспортною інфраструктурою, щільністю забудови та концентрацією техногенних об'єктів.

Найвищі рівні фізичного навантаження зафіксовано у центральних районах міста, поблизу магістралей, залізничних ліній та транспортних вузлів. У цих зонах спостерігається одночасний вплив кількох фізичних факторів, що негативно позначається на якості міського середовища, здоров'ї населення та стані урбанізованих екосистем. Встановлено, що тривалий вплив шуму, надмірного штучного освітлення, вібрацій та електромагнітних полів може спричиняти порушення психоемоційного стану людини, зниження комфортності проживання, а також негативно впливати на зелені насадження та біоту міста.

Порівняння рівнів фізичного забруднення у Варшаві та містах України - Києві, Львові і Тернополі - засвідчило, що у Варшаві більш ефективно реалізуються заходи моніторингу та регулювання фізичних факторів. Українські міста характеризуються менш системним підходом до контролю фізичного забруднення, особливо у сфері шумового та світлового навантаження.

Використання картографічних матеріалів, графіків і таблиць дозволило наочно відобразити просторовий розподіл фізичних факторів та визначити території підвищеного екологічного ризику. Отримані результати підтверджують необхідність комплексного моніторингу фізичного забруднення та врахування його впливу під час планування сталого розвитку міст

РОЗДІЛ 3. КОМПЛЕКСНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ НА СТАН ДОВКІЛЛЯ МІСТА ВАРШАВА

3.1 Система показників для оцінки сукупного впливу фізичних факторів

Місто Варшава як велика урбанізована територія характеризується значним антропогенним навантаженням на природне середовище. У межах міста спостерігається висока концентрація транспортних потоків, інтенсивна забудова, розвиток промислових об'єктів та інженерної інфраструктури. Усі ці фактори сприяють формуванню підвищеного рівня фізичного впливу на компоненти міського середовища.

Фізичні фактори можуть істотно впливати як на стан природних компонентів довкілля, так і на здоров'я населення. Зокрема, підвищений рівень шуму негативно впливає на нервову систему людини, викликає стресові стани, порушення сну та зниження працездатності. Крім того, тривалий вплив шумового навантаження може призводити до розвитку різних захворювань серцево-судинної системи.

Важливим аспектом дослідження є також вплив фізичних факторів на міські екосистеми. Зелені насадження, які відіграють значну роль у підтриманні екологічної рівноваги міського середовища, можуть зазнавати негативного впливу шуму, вібрацій, підвищених температур та інших фізичних навантажень. Це може проявлятися у погіршенні стану рослинності, зниженні її стійкості до антропогенних факторів та зменшенні екологічної ефективності зелених зон.

Комплексна екологічна оцінка впливу фізичних факторів є важливим інструментом для визначення рівня техногенного навантаження на довкілля та розроблення ефективних заходів щодо його зменшення. Така оцінка передбачає використання системи показників, які дозволяють кількісно та якісно охарактеризувати вплив різних фізичних факторів на природні та соціальні компоненти міського середовища.

Аналіз впливу фізичних факторів на довкілля міста Варшава дозволяє визначити основні джерела негативного впливу, оцінити їхній рівень та розробити рекомендації щодо підвищення екологічної безпеки міського середовища. Особливу увагу при цьому слід приділяти впровадженню сучасних екологічних підходів та використанню досвіду країн Європейського Союзу у сфері управління міським середовищем.

Таким чином, дослідження впливу фізичних факторів на стан довкілля міста є важливим напрямом екологічних досліджень, що дозволяє комплексно оцінити екологічну ситуацію в урбанізованих територіях та визначити шляхи її покращення.

Комплексна оцінка впливу фізичних факторів на стан довкілля урбанізованих територій потребує використання системи показників, які дозволяють кількісно та якісно охарактеризувати рівень фізичного навантаження та його наслідки. На відміну від окремого аналізу шуму, світлового забруднення, вібрацій або електромагнітних полів, інтегральний підхід передбачає врахування сукупного впливу цих факторів, що є особливо важливим для великих міст, таких як Варшава.

Система показників повинна базуватися на принципах комплексності, репрезентативності та порівнюваності. Це означає, що обрані індикатори мають відображати як інтенсивність фізичних факторів, так і їхній вплив на довкілля та здоров'я населення. У практиці екологічних досліджень доцільно виділяти три основні групи показників: показники стану середовища, показники впливу на біоту та людину, а також інтегральні показники екологічного навантаження.

До першої групи належать показники, що характеризують безпосередній рівень фізичних факторів у середовищі. Для шумового забруднення основним індикатором є еквівалентний рівень звуку (L_{Aeq}), що вимірюється у децибелах (дБА) і дозволяє оцінити середній рівень шуму за певний період часу. Для світлового забруднення використовуються показники освітленості (люкс) та

яскравості нічного неба ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$), які дають змогу визначити ступінь відхилення від природного світлового режиму. Вібраційне навантаження оцінюється за допомогою параметрів прискорення або швидкості коливань (m/s^2), тоді як для електромагнітних полів застосовуються показники напруженості електричного поля (V/m) та магнітної індукції (mT).

Друга група включає показники, що відображають вплив фізичних факторів на живі організми та людину. До них належать індикатори захворюваності населення, рівень стресового навантаження, порушення сну, а також зміни у стані рослинності та міських екосистем. Наприклад, зниження біорізноманіття у зонах з високим рівнем шуму або деградація зелених насаджень у районах із підвищеним світловим забрудненням можуть розглядатися як непрямі показники негативного впливу фізичних факторів.

Третя група - інтегральні показники - дозволяє узагальнити вплив кількох фізичних факторів одночасно. Такі показники є особливо важливими для оцінки загального екологічного стану території. Одним із підходів є використання бальної системи, за якою кожному фактору присвоюється певне значення залежно від рівня його інтенсивності, після чого розраховується сумарний індекс фізичного навантаження.

Для міста Варшава доцільно використовувати узагальнену систему показників, наведену в таблиці.

На основі цих показників може бути сформований інтегральний індекс фізичного навантаження, який дозволяє оцінити екологічний стан окремих територій міста. Такий індекс може розраховуватися як середнє або зважене значення показників, що враховує значущість кожного фактору.

Таблиця 3.1

**Система показників оцінки фізичного навантаження
у міському середовищі**

Важливою перевагою використання системи показників є можливість

Фактор	Показник	Одиниця виміру	Оцінка рівня
Шум	L_{Aeq}	дБА	низький (< 55), середній (55–65),
Світлове забруднення	Освітленість	лк	низький (< 10), середній (10–30),
Вібрації	Прискорення	m/s^2	низький (< 0.3), середній (0.3–1),
ЕМП	Напруженість поля	В/м	низький (< 1), середній (1–3), ви

порівняння різних територій між собою, а також відстеження змін у часі. Це дозволяє визначати найбільш проблемні зони, оцінювати ефективність природоохоронних заходів і планувати подальші дії щодо зменшення негативного впливу фізичних факторів.

Таким чином, система показників є основою для комплексної екологічної оцінки фізичного навантаження у міському середовищі. Її застосування забезпечує об'єктивність аналізу, підвищує наукову обґрунтованість дослідження та створює передумови для розроблення ефективних заходів з покращення екологічного стану міста

3.2 Рекомендації щодо зменшення впливу фізичних факторів у містах України на основі досвіду ЄС

У сучасних умовах урбанізації проблема фізичного забруднення міського середовища набуває все більшої актуальності, особливо для міст України, де рівень техногенного навантаження постійно зростає. Досвід країн Європейського Союзу свідчить про ефективність комплексного підходу до управління фізичними факторами, що поєднує нормативно-правове регулювання, просторове планування, технічні рішення та екологічний моніторинг.

Одним із ключових напрямів зменшення шумового навантаження є вдосконалення транспортної інфраструктури. У європейських містах широко

застосовуються заходи зі зниження інтенсивності транспортних потоків у центральних районах, обмеження швидкості руху, використання шумопоглинаючих дорожніх покриттів, а також створення об'їзних доріг. Для міст України, зокрема Києва, Львова та Тернополя, доцільним є впровадження зон обмеженого руху транспорту та розвиток громадського транспорту як альтернативи приватним автомобілям.

Важливим заходом є створення та розширення зелених зон як природних бар'єрів для зниження рівня шуму. Дерева та чагарники здатні ефективно поглинати та розсіювати звукові хвилі, що особливо актуально для територій, прилеглих до транспортних магістралей. У містах Львові та Тернополі вже частково реалізуються подібні підходи через озеленення вулиць і створення рекреаційних зон, однак ці заходи потребують системного впровадження та інтеграції у міське планування.

Щодо зменшення світлового забруднення, у країнах Європейського Союзу активно впроваджуються енергоефективні системи освітлення з регулюванням інтенсивності світлового потоку залежно від часу доби. Використання світильників із направленим світловим потоком дозволяє зменшити розсіювання світла у верхні шари атмосфери та знизити вплив на екосистеми. Для українських міст доцільним є поступовий перехід на сучасні системи освітлення, особливо у центральних районах та вздовж основних транспортних артерій.

Значну увагу в європейській практиці приділяють зниженню вібраційного навантаження. Це досягається шляхом використання сучасних будівельних матеріалів, впровадження антивібраційних технологій у транспортній інфраструктурі та дотримання нормативів при забудові територій. У містах України, включаючи Київ, Львів та Тернопіль, доцільно посилити контроль за рівнем вібрацій у зонах житлової забудови, особливо поблизу транспортних об'єктів.

Щодо електромагнітного забруднення, у країнах ЄС діють чіткі нормативи щодо розміщення джерел електромагнітних полів, зокрема базових станцій мобільного зв'язку. Важливим є також проведення регулярного моніторингу рівнів електромагнітного випромінювання та інформування населення. В Україні необхідно вдосконалити систему контролю за розміщенням таких об'єктів і забезпечити прозорість даних щодо рівнів електромагнітних полів у містах.

Окрему роль відіграє впровадження систем екологічного моніторингу. У країнах Європейського Союзу активно використовуються автоматизовані системи збору даних про рівні шуму, освітлення та інших фізичних факторів у режимі реального часу. Для міст України доцільним є створення подібних систем, що дозволить оперативно реагувати на перевищення допустимих норм та підвищить ефективність управління міським середовищем.

Важливим напрямом є також підвищення екологічної свідомості населення. У європейських країнах значна увага приділяється інформуванню громадян щодо впливу фізичних факторів на здоров'я та довкілля. В Україні, зокрема у таких містах, як Тернопіль, це може реалізовуватися через освітні програми, інформаційні кампанії та залучення громадськості до екологічних ініціатив.

Таким чином, адаптація європейського досвіду до умов українських міст дозволить значно зменшити рівень фізичного навантаження, підвищити якість міського середовища та забезпечити більш комфортні умови проживання населення. Реалізація зазначених заходів потребує комплексного підходу, що поєднує технічні, організаційні та управлінські рішення.

3.3 Шляхи зменшення негативного впливу фізичних факторів і напрями підвищення екологічної безпеки Варшави

Зменшення негативного впливу фізичних факторів у межах великого міста потребує комплексного підходу, що поєднує інженерні, організаційні, природоохоронні та управлінські заходи. Для міста Варшава, яке

характеризується високим рівнем урбанізації та значним техногенним навантаженням, особливо важливим є впровадження ефективної системи управління фізичним забрудненням.

Одним із ключових напрямів є зниження рівня шумового навантаження. Це може бути досягнуто шляхом модернізації транспортної інфраструктури, зокрема використання шумопоглинаючих дорожніх покриттів, впровадження електротранспорту та обмеження руху в центральних районах міста. Важливим заходом є також встановлення шумозахисних екранів уздовж магістралей та залізничних ліній, а також впровадження зон з обмеженою швидкістю руху транспорту.

Не менш важливою є оптимізація системи міського освітлення з метою зменшення світлового забруднення. У місті доцільно впроваджувати сучасні LED-системи освітлення з регулюванням інтенсивності світлового потоку залежно від часу доби та рівня освітленості території. Використання світильників із направленим світловим потоком дозволить мінімізувати розсіювання світла та знизити його негативний вплив на екосистеми і здоров'я населення.

Зниження вібраційного навантаження можливе завдяки використанню сучасних будівельних технологій та матеріалів, які мають амортизаційні властивості. Особливу увагу слід приділяти реконструкції транспортної інфраструктури, зокрема трамвайних колій та дорожнього покриття, що є основними джерелами вібрацій у міському середовищі. Крім того, доцільним є обмеження будівельних робіт у житлових районах у нічний час.

У сфері зменшення електромагнітного навантаження важливим є раціональне розміщення джерел електромагнітного випромінювання. Планування розміщення базових станцій мобільного зв'язку повинно здійснюватися з урахуванням санітарно-гігієнічних норм і віддаленості від житлових будівель. Також необхідним є регулярний моніторинг рівнів електромагнітних полів у межах міста.

Важливу роль у підвищенні екологічної безпеки відіграє розвиток зелених насаджень. Розширення площі зелених зон, створення зелених коридорів та вертикального озеленення сприяють не лише покращенню якості повітря, але й зниженню рівня шуму та температури у міському середовищі. Особливо ефективним є озеленення територій уздовж транспортних магістралей, де спостерігається найбільше фізичне навантаження.

Окремим напрямом є впровадження сучасних систем екологічного моніторингу. Створення автоматизованих мереж спостереження за рівнями шуму, освітлення, вібрацій та електромагнітних полів дозволить оперативно отримувати інформацію про стан міського середовища та своєчасно реагувати на перевищення допустимих норм. Використання геоінформаційних систем дає можливість візуалізувати просторовий розподіл фізичних факторів та визначати найбільш проблемні території.

Не менш важливим є вдосконалення системи управління та нормативно-правового регулювання у сфері екологічної безпеки. Необхідно забезпечити інтеграцію екологічних вимог у процеси міського планування, а також посилити контроль за дотриманням встановлених норм. Важливим є також залучення громадськості до процесів прийняття рішень, що сприятиме підвищенню ефективності реалізації екологічної політики.

Таким чином, підвищення екологічної безпеки міста Варшава можливе лише за умови реалізації комплексної стратегії, що враховує всі основні джерела фізичного навантаження. Поєднання технічних інновацій, ефективного управління та екологічно орієнтованого планування дозволить суттєво знизити негативний вплив фізичних факторів і створити більш комфортне та безпечне міське середовище.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі кваліфікаційної роботи здійснено комплексну екологічну оцінку впливу фізичних факторів на стан довкілля міста Варшави та

проаналізовано основні напрями зменшення фізичного навантаження в умовах урбанізованого середовища.

Встановлено, що ефективна оцінка впливу фізичних факторів потребує використання системи інтегрованих показників, які дозволяють враховувати інтенсивність, просторовий розподіл та сукупний вплив шуму, світлового забруднення, вібрацій і електромагнітних полів. Комплексний підхід до оцінки фізичного забруднення дає можливість більш об'єктивно визначати рівень екологічної небезпеки окремих територій міста.

Проаналізовано досвід країн Європейського Союзу у сфері зменшення фізичного навантаження на міське середовище. Встановлено, що найбільш ефективними заходами є розвиток систем екологічного моніторингу, обмеження транспортного навантаження, використання шумозахисної інфраструктури, оптимізація міського освітлення та збільшення площ зелених насаджень. Визначено, що окремі елементи такого підходу можуть бути адаптовані для міст України, зокрема Тернополя.

На основі проведеного дослідження запропоновано напрями підвищення екологічної безпеки міста Варшава, які передбачають удосконалення системи моніторингу фізичних факторів, розвиток екологічно орієнтованого міського планування та впровадження сучасних природоохоронних рішень. Отримані результати підтверджують необхідність комплексного підходу до управління фізичним забрудненням як важливої складової сталого розвитку сучасних

ВИСНОВКИ

У процесі виконання бакалаврської роботи здійснено комплексне дослідження впливу фізичних факторів антропогенного походження на стан довкілля урбанізованих територій на прикладі міста Варшава. У роботі розкрито теоретико-методичні засади дослідження фізичного забруднення, проведено аналіз рівнів і просторового розподілу фізичних факторів, а також виконано комплексну екологічну оцінку їх впливу на міське середовище.

У першому розділі узагальнено наукові підходи до визначення сутності фізичних факторів впливу на довкілля, зокрема шуму, світлового забруднення, вібрацій та електромагнітних полів. Розглянуто їх класифікацію, джерела формування та особливості впливу на компоненти довкілля і здоров'я людини. Обґрунтовано доцільність використання сучасних методів оцінки та моніторингу фізичного навантаження, а також проаналізовано нормативно-правове регулювання у цій сфері в Україні та країнах Європейського Союзу.

У другому розділі проведено аналіз навантаження фізичних факторів у міському середовищі міста Варшава. Встановлено, що рівень фізичного навантаження має чітко виражений просторовий характер і залежить від функціонального зонування території. Найвищі показники зафіксовані у центральних районах і вздовж основних транспортних магістралей, тоді як рекреаційні та периферійні зони характеризуються більш сприятливими умовами. Проведене порівняння з містами України, зокрема Києвом, Львовом та Тернополем, показало, що, незважаючи на подібні джерела фізичного забруднення, рівень його контролю та управління у Варшаві є більш ефективним.

У третьому розділі здійснено комплексну екологічну оцінку впливу фізичних факторів на стан довкілля. Розроблено систему показників, яка дозволяє оцінити сукупний вплив шуму, світлового забруднення, вібрацій та електромагнітних полів. Встановлено, що фізичні фактори мають суттєвий негативний вплив на здоров'я населення, зокрема спричиняють стресові стани,

порушення сну та функціональні розлади організму. Також визначено їх вплив на зелені насадження та урбанізовані екосистеми, що проявляється у зниженні біорізноманіття та екологічної стійкості міського середовища.

На основі аналізу європейського досвіду запропоновано рекомендації щодо зменшення впливу фізичних факторів у містах України. Встановлено, що ефективне управління фізичним навантаженням можливе за умови впровадження комплексних заходів, які включають удосконалення транспортної інфраструктури, розвиток зелених зон, модернізацію систем освітлення та впровадження сучасних технологій моніторингу.

Для міста Варшава визначено основні напрями підвищення екологічної безпеки, що передбачають зниження рівнів шуму, оптимізацію освітлення, контроль за електромагнітним випромінюванням та розширення зелених насаджень. Реалізація запропонованих заходів сприятиме покращенню якості міського середовища та підвищенню рівня комфорту проживання населення.

Отже, у роботі досягнуто поставлену мету та виконано всі визначені завдання. Отримані результати можуть бути використані для подальших досліджень у сфері міської екології, а також при розробленні стратегій сталого розвитку урбанізованих територій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. World Health Organization. Environmental Noise Guidelines for the European Region. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 2018. 160 p.
2. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise // Official Journal of the European Communities. 2002.
3. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz) // Health Physics. 2020. Vol. 118 (5). P. 483–524.
4. Barentine J. C., Walker C. E., Kocifaj M. Et al. Methods for Assessment and Monitoring of Light Pollution // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. 2019. Vol. 224. P. 109–125.
5. Falchi F., Cinzano P., Duriscoe D. Et al. The new world atlas of artificial night sky brightness // Science Advances. 2016. Vol. 2 (6).
6. Bará S., Falchi F. Artificial light at night: a global disruptor of the night-time environment // Environmental Research Letters. 2023.
7. Choudhary A., Kumar A. Severity of light pollution and its multifaceted impact // arXiv preprint. 2023.
8. ISO 2631-1:1997. Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements. Geneva : International Organization for Standardization.

9. ISO 2631-5:2004. Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 5. Geneva : International Organization for Standardization.
10. Міністерство охорони здоров'я України. Державні санітарні норми допустимих рівнів шуму в приміщеннях житлових і громадських будівель та на території житлової забудови : Наказ №463 від 22.02.2019.
11. Міністерство освіти і науки України. Фізичні фактори забруднення навколишнього середовища : навчальні матеріали. Київ, 2020.
12. CORDIS. Impact of environmental noise and light pollution on biodiversity. URL: <https://cordis.europa.eu/>
13. European Environment Agency. Noise in Europe 2020. Copenhagen : EEA, 2020.
14. European Commission. Environmental Noise Directive: Implementation Report. Brussels, 2017.
15. WHO Regional Office for Europe. Night Noise Guidelines for Europe. Copenhagen, 2009.
16. UNEP. Frontiers 2022: Noise, Blazes and Mismatches. Nairobi : United Nations Environment Programme, 2022.
17. Студопедія. Фізичні фактори забруднення середовища. URL: <https://studopedia.su/>
18. Підручники онлайн. Шумове забруднення. URL: <https://pidru4niki.com/>
19. Міністерство освіти і науки України. Електромагнітне забруднення довкілля : навчальні матеріали. Київ, 2021.
20. International EMF Project. Electromagnetic fields and public health. World Health Organization. URL:

<https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/radiation-and-health/non-ionizing/international-emf-project>

21. Journal of Vibroengineering. Impact of Warsaw Metro on surface vibration // Journal of Vibroengineering. 2021.
22. European Environment Agency. Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2020.
23. Rich C., Longcore T. Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington : Island Press, 2006. 458 p.
24. Gaston K. J. The Biological Impacts of Artificial Light at Night. Cambridge : Cambridge University Press, 2018.
25. Berglund B., Lindvall T., Schwela D. H. Guidelines for Community Noise. Geneva : World Health Organization, 1999.
26. European Commission. Green Infrastructure Strategy of the European Union. Brussels, 2013.
27. Kowalczyk A. Urban environmental problems in Warsaw metropolitan area // Environmental Protection and Natural Resources. 2019. Vol. 30 (2). P. 15–24.
28. Smart Cities Dive. Urban noise pollution and sustainable city planning. URL: <https://www.smartcitiesdive.com/>
29. European Commission. Urban Mobility and Environmental Noise in European Cities. Brussels, 2021.
30. Polish Chief Inspectorate of Environmental Protection. Environmental Monitoring in Warsaw. Warsaw, 2022.
31. Batty M. The New Science of Cities. Cambridge : MIT Press, 2013.
32. Forman R. Urban ecology principles and urban environmental planning // Landscape and Urban Planning. 2014. Vol. 125. P. 1–10.

Додатки

Додаток 1. Карта шумового забруднення міста Варшава:

<https://testmapa.um.warszawa.pl/mapa/527776cf-e289-4f6f-a05d-3d85fdcf60b5?zoom=14&srodekX=7503322.940674566&srodekY=5778738.1548941545>



Додаток 2. Інтенсивність світлового забруднення над центральною частиною м. Варшава.



Додаток 3. Світлове забруднення від лінійних джерел освітлення (автомобільне шосе).



Додаток 4. Рівень нічної темряви в межах рекреаційної зони (лісу) як показник низького фізичного забруднення.

