

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет Землепорядкування

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету/Директор ННІ

_____ **Олександр ШЕВЧЕНКО**

(підпис)

«__» _____ 20__ р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри геоінформатики і
аерокосмічних досліджень Землі**

_____ **Антоніна МОСКАЛЕНКО**

(підпис)

«__» _____ 20__ р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: « Геоінформаційний моніторинг стану довкілля міста Києва »

Спеціальність «**193 Геодезія та землеустрій**»

Освітньо-професійна програма «**Геодезія та землеустрій**»

Гарант освітньої програми

д-р. географ. наук, проф.

Іван КОВАЛЬЧУК

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Старший викладач

Богдан ДЕНИСЮК

Консультант

д-р. екон. наук, доцент

Анатолій ПОЛТАВЕЦЬ

Виконав

Володимир ХІМКО

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет землевпорядкування

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

геоінформатики і аерокосмічних

досліджень Землі

_____ Антоніна МОСКАЛЕНКО

«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Хімко Володимир Андрійович

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Тема Геоінформаційний моніторинг стану довкілля міста Києва;

Затверджено наказом ректора НУБіП України від 18.11.2024 року 2063 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру: за 10 днів до захисту.

Вихідні дані Закон України "Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України ДСТУ ISO 19100 – географічна інформація Цифрова основа Open Street Maps, статистичні дані

Перелік питань, які потрібно зробити:

1. дослідити теоретичні засади, нормативно-правове забезпечення та сучасні підходи до геоінформаційного моніторингу екологічного стану міського середовища;
2. розробити базу геопросторових даних екологічного стану міста Києва, включаючи функціональну, структурну, концептуальну та фізичну моделі даних;
3. розробити та застосувати геоінформаційні моделі для оцінки впливу транспортної системи і промислових об'єктів на довкілля та виконати аналіз екологічної привабливості міського середовища м. Києва.

Дата видачі завдання _____

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

_____ **Богдан ДЕНИСЮК**

Консультант

_____ **Анатолій ПОЛТАВЕЦЬ**

Завдання прийняла до виконання _____ **Володимир ХІМКО**

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	5
ВСТУП.....	11
Розділ 1. Характеристика екологічного стану міського середовища міста Києва як об'єкта інформатизації.....	12
1.1 Призначення та зміст екологічного стану міського середовища міста Києва.....	12
1.2 Законодавче та нормативно методичне забезпечення.....	15
1.3 Огляд існуючих рішень геоінформаційного забезпечення моделювання екологічного стану навколишнього середовища.....	18
1.4 Особливості застосування геоінформаційних моделей при аналізі екологічного стану міського середовища.....	23
Розділ 2. Розроблення бази геопросторових даних екологічного стану міського середовища.....	27
2.1 Розроблення функціональної та структурної моделей бази геопросторових даних.....	27
2.2 Розроблення концептуальної моделі бази геопросторових даних.....	34
2.3 Інформаційно-логічна модель бази геопросторових даних.....	41
2.4 Фізична модель бази геопросторових даних.....	43
Розділ 3. Розроблення та застосування запропонованих методів геопросторового моделювання екологічного середовища.....	49
3.1 Розроблення цифрової карти міста Києва.....	49
3.2 Геоінформаційна модель впливу транспортної системи на екологію міста.....	52
3.3 Геоінформаційна модель впливу промислових об'єктів на навколишнє середовище.....	58
3.4 Геоінформаційна модель екологічної привабливості міського середовища.....	65
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72

РЕФЕРАТ

Мета дипломного проєкту: Дослідити можливості застосування геоінформаційних технологій для моніторингу та оцінки екологічного стану міста Києва з метою виявлення зон екологічного ризику та підтримки управлінських рішень.

Об'єкт дослідження дипломного проєкту: Екологічне довкілля міста Києва.

Предмет дослідження дипломного проєкту: Методи та засоби геоінформаційного моніторингу і моделювання екологічного стану міського середовища Києва.

У першому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розглянуто теоретичні основи просторово-інформаційних досліджень щодо вивчення екологічного стану міського середовища Києва як об'єкта геоінформаційного моніторингу. Охарактеризовано центральні поняття: екологічний стан міського середовища, джерела антропогенного впливу та геоінформаційні системи. Представлено аналіз законодавчого та нормативно-методичного забезпечення охорони навколишнього середовища, а також застосування геоінформаційних технологій та організації екологічного моніторингу. Проведено впровадження існуючих геоінформаційних рішень для моделювання екологічного стану середовища, а також розглянуто деталі того, як можна використовувати геоінформаційні моделі для аналізу екологічних умов у великих містах.

У другому розділі розроблено геопросторову базу даних для екологічного стану міського середовища. Модель функції та структури геопросторової бази даних була створена на основі якої систематизується, накопичується та обробляється екологічний викид. Розроблено концептуальну модель бази даних для представлення взаємозв'язку природних, техногенних та соціально-економічних елементів міського контексту.

Крім того, розроблено фізичну модель геопросторової бази даних для забезпечення ефективного зберігання, оновлення та використання інформації для геоінформаційного аналізу екологічного стану міста Києва. Розроблено та

випробувано різні методи геопросторового моделювання, такі як екологічне середовище Києва, розроблене у третьому розділі. Цифрова карта міської території Києва була створена як основа для проведення геоінформаційного аналізу. Підготовлено геоінформаційну модель впливу транспортної системи на екологічний стан міського середовища. Створено просторову модель картування антропогенного навантаження транспортної системи на екологічний стан міста, що дозволяє просторову класифікацію зон, які розширилися в зони з більшими рівнями антропогенного навантаження на землю.

Також було встановлено просторову організацію міського середовища; створено геоінформаційну модель на основі впливу промислових об'єктів на середовище, а також проведено аналіз територій з підвищеним техногенним впливом. Крім того, сформульовано геоінформаційну модель екологічної привабливості міського середовища, яка може бути використана для визначення сприятливих зон для побутового та рекреаційного використання. Для цілей моніторингу екологічного середовища в Києві тема геоінформації є актуальною через постійний контроль екологічної ситуації в умовах розширення міської інфраструктури, інтенсивного руху транспорту та збільшення техногенного навантаження на навколишнє середовище.

Сучасні геоінформаційні технології пропонують ефективні інструменти для збору, зберігання, аналізу та візуалізації екологічної інформації, сприяючи раціональному управлінню охороною навколишнього середовища. Значення цього питання також стосується сталого розвитку міського середовища та покращення якості життя людей. Геоінформаційний моніторинг забезпечує можливість своєчасного виявлення негативних екологічних тенденцій, оцінки ступеня впливу джерел забруднення та прогнозування змін у навколишньому середовищі. Крім того, використання геоінформаційної системи для екологічного моніторингу покращує якість охорони навколишнього середовища, пропонує інтегровану оцінку екологічних процесів та інтегрує просторові інформаційні дані у вигляді єдиної системи даних.

Це призводить до створення екологічно безпечного та комфортного міського середовища. Метою цієї бакалаврської кваліфікаційної роботи є створення та розробка деяких методів та моделей для геоінформації екологічного моніторингу та аналізу в місті Києві. Відповідно до передбаченої мети були реалізовані наступні завдання:

- Дослідити теоретичні основи та нормативно-правову базу для геоінформаційного моніторингу екологічного стану міської території;
- Дослідити наявні геоінформаційні системи та методи екологічного моделювання;
- Створити функціональні, структурні, концептуальні та фізичні проекти для геопросторової бази даних екологічного стану міста Києва;
- Розробити цифрову модель міста Києва для геоінформаційного аналізу;
- Сформувати геоінформаційну модель впливу транспортної системи на екологічний стан міського середовища;
- Побудувати геоінформаційну модель впливу промислових об'єктів на середовище;
- Встановити геоінформаційну модель екологічної привабливості міського середовища, а також оцінити територію міста за екологічними показниками.

Розгляд теми спрямоване на екологію міського життя в місті Києві як складної природно-техногенної системи. Робота обговорює методи, моделі та засоби геоінформаційного моніторингу екологічного стану середовища міста Києва, процес збору та обробки, аналізу та візуалізації геопросторових екологічних даних.\

ABSTRACT

Objective of the Thesis: To investigate the feasibility of applying geoinformation technologies for the monitoring and assessment of the ecological state of the city of Kyiv, with the ultimate goal of identifying ecological risk zones and supporting managerial decision-making.

Object of Research: The ecological environment of the city of Kyiv.

Subject of Research: Methods and tools for the geoinformation monitoring and modeling of the ecological state of Kyiv's urban environment.

Chapter 1 of this bachelor's thesis delineates the theoretical foundations of spatial-informational research regarding the ecological state of Kyiv's urban environment as an object of geoinformation monitoring. It characterizes pivotal concepts, namely: the ecological state of the urban environment, sources of anthropogenic impact, and geographic information systems. Furthermore, it presents an analysis of the legislative, regulatory, and methodological frameworks governing environmental protection, alongside the application of geoinformation technologies and the organization of ecological monitoring. The chapter also evaluates the implementation of existing geoinformation solutions for modeling environmental conditions and elaborates on the methodologies of utilizing geoinformation models to analyze ecological circumstances within metropolitan areas.

Chapter 2 delineates the development of a geospatial database tailored for the ecological assessment of the urban environment. A functional and structural model of the geospatial database was established, serving as the foundation for systematizing, accumulating, and processing ecological emission data. A conceptual database model was designed to represent the intricate interconnectedness of natural, technogenic, and socio-economic elements within the urban context. Furthermore, a physical model of the geospatial database was developed to ensure efficient storage, optimization, and utilization of data for the geoinformation analysis of Kyiv's ecological state.

Various geospatial modeling methods were designed and verified, including the ecological environment model of Kyiv developed in **Chapter 3**. A digital map of

the Kyiv urban area was generated to serve as the baseline for geoinformation analysis. Concurrently, a geoinformation model assessing the transportation system's impact on the urban environment's ecological state was formulated. A spatial mapping model of the anthropogenic load exerted by the transport system on the city's ecology was created, enabling the spatial classification of zones that have escalated into areas with higher levels of anthropogenic land pressure.

Additionally, the spatial organization of the urban environment was established; a geoinformation model predicated on the impact of industrial facilities on the environment was constructed, complemented by an analysis of territories subject to elevated technogenic influence. Moreover, a geoinformation model of the urban environment's ecological attractiveness was formulated, which can be utilized to identify favorable zones for residential and recreational purposes. For the purpose of monitoring the ecological environment in Kyiv, the integration of geoinformation is highly relevant due to the necessity for continuous surveillance of the ecological situation amidst expanding urban infrastructure, intensive traffic flows, and escalating technogenic pressure on the environment.

Modern geoinformation technologies offer potent tools for the collection, storage, analysis, and visualization of ecological data, thereby facilitating rational environmental management. The significance of this issue also extends to the sustainable development of the urban environment and the enhancement of human quality of life. Geoinformation monitoring provides the capacity for the timely detection of adverse ecological trends, the assessment of the degree of impact exerted by pollution sources, and the forecasting of environmental alterations. Furthermore, the utilization of a geographic information system for ecological monitoring enhances the efficacy of environmental protection, offers an integrated assessment of ecological processes, and consolidates spatial information into a unified data system.

This ultimately fosters the creation of an ecologically secure and comfortable urban environment. The primary objective of this bachelor's thesis is the creation and development of specific methods and models for geoinformation-based ecological

monitoring and analysis in the city of Kyiv. In accordance with this objective, the following tasks were accomplished:

- To investigate the theoretical foundations and regulatory frameworks for the geoinformation monitoring of the ecological state of urban territories;
- To examine existing geographic information systems and environmental modeling methodologies;
- To design functional, structural, conceptual, and physical frameworks for a geospatial database of the ecological state of Kyiv;
- To develop a digital model of the city of Kyiv for geoinformation analysis;
- To formulate a geoinformation model assessing the impact of the transportation system on the ecological state of the urban environment;
- To construct a geoinformation model evaluating the impact of industrial facilities on the environment;
- To establish a geoinformation model of the ecological attractiveness of the urban environment and to evaluate the city's territory based on ecological indicators.

The scope of this research focuses on the urban ecology of Kyiv as a complex natural-technogenic system. The thesis discusses the methods, models, and tools of geoinformation monitoring regarding the ecological state of Kyiv's environment, alongside the processes of collecting, processing, analyzing, and visualizing geospatial ecological data.

ВСТУП

В житті людей значну роль відіграє екологічний стан навколишнього середовища, особливо це стосується жителів міст, де навколишнє середовище зазнає постійного забруднення. Як наслідок підвищена кількість захворювань в міській зоні. Щоб визначити реальні зони впливу того чи іншого фактора забруднення буде застосований метод моделювання стану довкілля. Це метод дослідження будови, функціонування, динаміки та розвитку екологічних об'єктів або процесів з використанням моделей, які певною мірою відповідають оригіналу.

У дипломній роботі будуть розглянуті та змодельовані основні фактори забруднення екології міста та показано їх просторовий вплив на прикладі м. Києва. Також в ході виконання дипломної роботи буде створену модель екологічної привабливості міського середовища. Така модель в загальному показують вплив техногенних об'єктів, на навколишнє середовище, також враховується вплив різних рекреаційних територій. Цю інформацію можна використовувати при оцінці земельних ділянок, де одним з факторів що впливають на ціну ділянки є екологічний стан. Також буде показаний вплив транспортної системи на міське середовище. Зі збільшенням кількості автомобілів зростає шумове забруднення, а отже зростає необхідність у визначенні меж такого забруднення. В дипломній роботі це питання розглянуто, і визначено як впливає транспортна система міста на стан екології. В процесі виконання дипломної роботи було зібрано інформацію про об'єкт дослідження, визначено основні об'єкти промислового забруднення, визначено стихійні сміттєзвалища, та ступінь завантаженості доріг. Основною метою роботи є поширення та інформування жителів міста про якість території, на яких вони проживають, така інформація має бути наглядною і загальнодоступною.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА М. КИЄВА ЯК ОБ'ЄКТА ІНФОРМАТИЗАЦІЇ

1.1 Призначення та зміст екологічного стану міського середовища міста Києва

Кожне місто - це штучне середовище антропогенного походження, досить складна урбоекологічна система зі своїми специфічними умовами, створеними співвідношенням природних факторів середовища (клімат, рельєф, геологічна будова, фауна і флора) та технічних (особливості промисловості, транспортної мережі, способу життя, суспільної організації). У сучасній урбоекосистемі виділяють природну, соціальну та технологічну підсистеми, які відзначають особливості екосистеми міста. Процес урбанізації є досить складним і поділяється на кілька стадій, кожна з яких має характерні особливості. Однією з найбільших проблем усіх міст світу, яка дедалі загострюється, є ресурсна - різке зменшення таких видів природних ресурсів, як продовольчі, мінеральні, просторові, рекреаційні. Для багатьох міст України характерна складна екологічна обстановка, обумовлена наявністю і концентрацією підприємств чорної та кольорової металургії, теплоенергетики, хімії та нафтохімії, гірничодобувної промисловості, цементних заводів. Такі міста є безперечними лідерами щодо забруднення повітря.

У великих містах з інтенсивними транспортними потоками вміст у повітрі канцерогенних речовин типу бензопірена в 2—3 рази, а в центрах чорної металургії приблизно в 12 раз вищий, ніж в невеликих містах або сільській місцевості

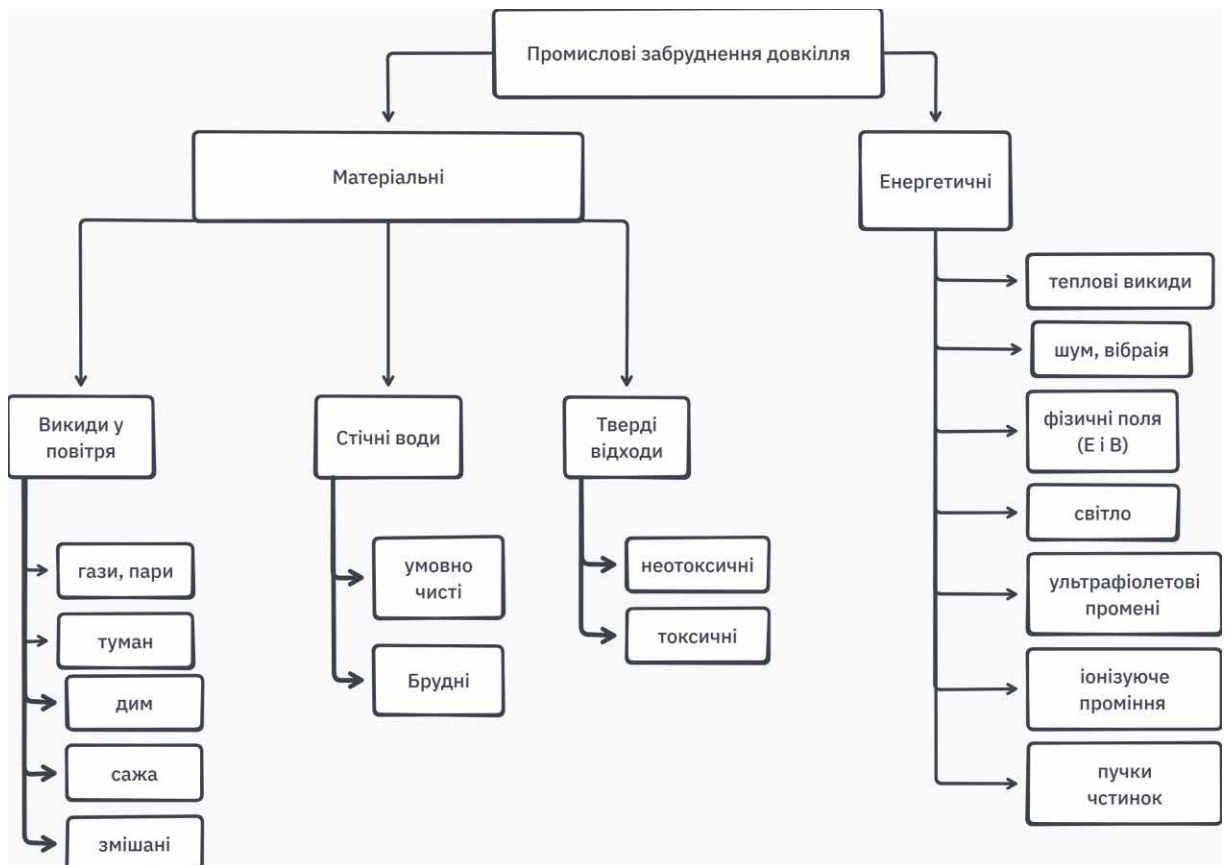


Рис.1.1 Види промислового забруднення

Другою не менш небезпечною екологічною проблемою міст є стан каналізаційного господарства та очистка стічних вод.

Практично в усіх містах України каналізаційні системи потребують заміни або капітального ремонту. Часті прориви каналізаційних колекторів є постійними джерелами небезпечного забруднення міського середовища, а іноді приводять до спалаху інфекційних захворювань.

За даними Міністерства екології та природних ресурсів України, в переважній більшості міст України споруди з очистки загальноміських стічних вод перевантажені. Виняток становлять, можливо, лише Київ та Харків. У багатьох містах існуючі потужності очисних споруд в декілька разів нижчі, ніж потрібно. Приблизно половина міських стічних вод скидаються у водні об'єкти недостатньо очищеними, із них біля 15 % — взагалі без очищення. Без усякої очистки скидається до 70 % промислових стічних вод.

Однією із складних екологічних проблем для більшості міст України є захоронення виробничих та побутових відходів, причому складність проблеми пропорційна чисельності населення та промислового потенціалу міста.

Ландшафти, обумовлені наявністю кар'єрів, розрізів та інших місць добування корисних копалин, а також місць складування промислових та побутових відходів у вигляді відвалів, хвостосховищ, шламонакопичувачів, териконів, звалищ, формують зони техногенного спустошення, площа яких до кінця XX століття склала біля 8 % від загальної території України. Забруднення ґрунтів в містах пов'язане головним чином з викидами автотранспорту та промислових підприємств. Забруднювальні речовини осідають або вимиваються атмосферними осадками із повітряного басейну в радіусі до 5 км від стаціонарного джерела викиду. Основними джерелами забруднення ґрунтового покриву стали теплові електростанції, підприємства кольорової та чорної металургії.

А тепер потрібно розглянути вплив екології міст на стан здоров'я їх жителів. Внаслідок забруднення атмосфери оксидами азоту, що утворюються в процесі роботи теплових електростанцій, викликають подразнення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів і в тяжких випадках можуть привести до смерті внаслідок набряку легенів. У Великобританії через забруднення повітря оксидами азоту і сірчистим газом щорічно від бронхіту вмирає понад 35000 чоловік.

Найбільш поширеною шкідливою домішкою повітря міста є монооксид вуглецю (джерело - автотранспорт, спалювання вугілля). Вдихання цього газу спричиняє швидку втомлюваність, головний біль, порушення сну, ослаблення пам'яті, розлади серцево-судинної та дихальної систем. Доведено існування прямої кореляції між концентрацією бенз(а)пірену (джерело - автотранспорт) у повітрі і смертністю від раку легенів. У відпрацьованих газах автомобілів постійно присутній також свинець, який веде до зниження активності ферментів, що беруть участь у насиченні крові киснем. Захворюваність на пневмонію, інфаркт, алергічні хвороби, зокрема, бронхіальну астму, також

пов'язана із забрудненням повітря. Забруднення води є причиною багатьох захворювань.

Найбільш небезпечними внаслідок здатності до швидкого поширення водним шляхом є такі інфекції, як холера, дизентерія, черевний тиф, сибірська виразка, гепатит, туберкульоз. Високий рівень шуму знижує працездатність, підвищує стомлюваність, погіршує слух, викликає стрес та інші нервові захворювання в жителів міста. Шумове забруднення скорочує життя людини на 8-12 років. Боротьба з шумом - одна з актуальних проблем гігієни й екології міста.

1.2 Законодавче та нормативно методичне забезпечення

Дипломна робота опирається на таке законодавче та нормативно правове забезпечення (рис. 1.2), та має 3 підрозділи: екологічна безпека, санітарні норми, та правила безпеки.

Головним органом в системі центральних органів виконавчої влади у формуванні і забезпеченні реалізації державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища є міністерство екології та природних ресурсів України. Наводжу перелік основних законів, у сфері природоохоронної діяльності якими керується міністерство екології та природних ресурсів.

- Закон України "Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року"
- Кодекс водний, від 1995.06.06, № 213/95-ВР "Водний кодекс України"
- Закон України від 1998.03.05, № 187/98-ВР "Про відходи"
- Закон України від 1991.06.25, № 1264-ХІІ "Про охорону навколишнього природного середовища"
- Закон України від 2002.01.10, № 2918-ІІІ "Про питну воду та питне водопостачання"

- Закон України від 2004.06.24, № 1864-IV "Про екологічну мережу України"
- Закон України від 1992.10.16, № 2707-XII "Про охорону атмосферного повітря"

Метою закону України "Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року" є стабілізація і поліпшення стану навколишнього природного середовища України шляхом інтеграції екологічної політики до соціально-економічного розвитку України для гарантування екологічно безпечного природного середовища для життя і здоров'я населення.

Водний кодекс, в комплексі з заходами організаційного, правового, економічного і виховного впливу, сприятиме формуванню водно-екологічного правопорядку і забезпеченню екологічної безпеки населення України.

Закон України "Про відходи" визначає правові, організаційні та економічні засади діяльності, пов'язаної із запобіганням або зменшенням обсягів утворення відходів, їх збиранням, перевезенням, зберіганням, обробленням, утилізацією та видаленням, знешкодженням та захороненням. Законом України "Про охорону навколишнього природного середовища" передбачено створення державної системи моніторингу довкілля (далі – ДСМД) та проведення спостережень за станом навколишнього природного середовища, рівнем його забруднення. Виконання цих функцій покладено на Мінприроди та інші центральні органи виконавчої влади, які є суб'єктами державної системи моніторингу довкілля, а також підприємства, установи та організації, діяльність яких призводить або може призвести до погіршення стану довкілля. Закон України "Про питну воду та питне водопостачання" визначає правові, економічні та організаційні засади функціонування системи питного водопостачання, спрямовані на гарантоване забезпечення населення якісною та безпечною для здоров'я людини питною водою.

Завданням закону України "Про екологічну мережу України" є регулювання суспільних відносин у сфері формування, збереження та

раціонального, невиснажливого використання екомережі як однієї з найважливіших передумов забезпечення сталого, екологічно збалансованого розвитку України.

Закон України "Про охорону атмосферного повітря" спрямований на збереження та відновлення природного стану атмосферного повітря, створення сприятливих умов для життєдіяльності, забезпечення екологічної безпеки та запобігання шкідливому впливу атмосферного повітря на здоров'я людей та навколишнє природне середовище.

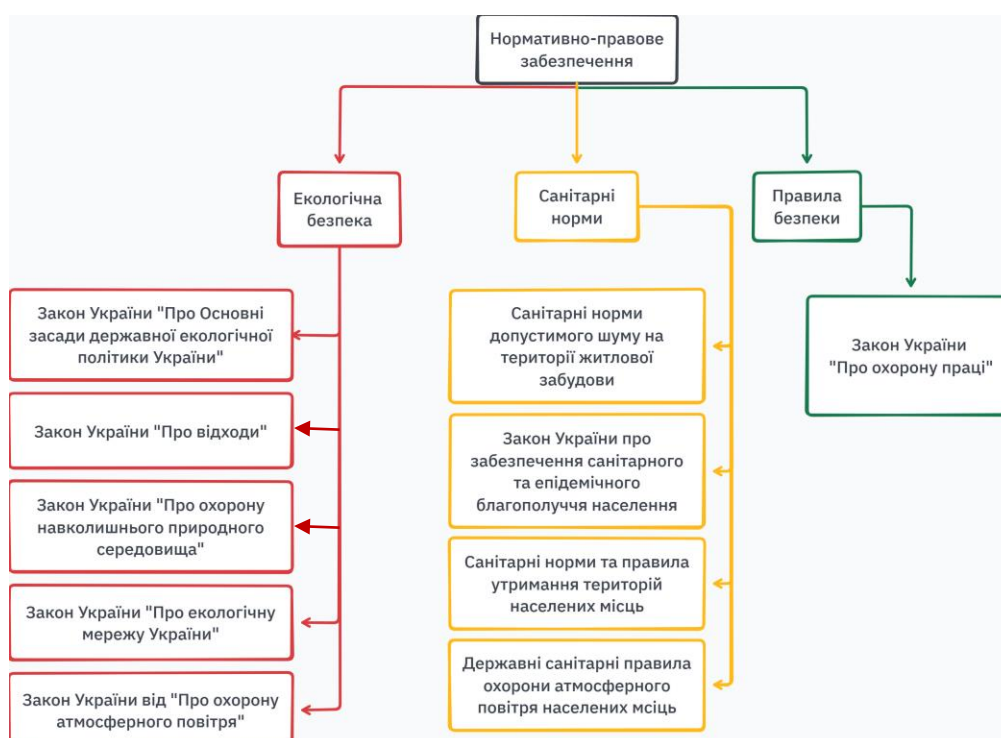


Рис. 1.2 Схема нормативно-правового забезпечення

Санітарні норми встановлюють вимоги до санітарного очищення територій населених місць, а також правила виконання робіт з належного прибирання об'єктів благоустрою та державного санітарно-епідеміологічного нагляду у сфері благоустрою населених пунктів і поводження з відходами.

На даний час, у державній системі моніторингу довкілля (далі – ДСМД) функції і задачі спостережень та інформаційного забезпечення виконують 8

суб'єктів системи моніторингу: Мінприроди, МНС, МОЗ, Мінагрополітики, Мінжитлокомунгосп, Держводгосп, Держкомлісгосп, Держкомзем. Кожний із суб'єктів ДСМД здійснює моніторинг тих об'єктів довкілля, що визначаються Положенням про державну систему моніторингу довкілля та порядками і положеннями про державний моніторинг окремих складових довкілля. Існуюча система моніторингу довкілля базується на виконанні розподілених функцій її суб'єктами і складається з підпорядкованих їм підсистем. Кожна підсистема на рівні окремих суб'єктів системи моніторингу має свою структурно-організаційну, науково-методичну та технічну бази. Функціонування ДСМД здійснюється на трьох рівнях, що розподіляються за територіальним принципом:

- загальнодержавний рівень, що охоплює пріоритетні напрямки та завдання моніторингу в масштабах всієї країни;
- регіональний рівень, що охоплює пріоритетні напрямки та завдання в масштабах територіального регіону;
- локальний рівень, що охоплює пріоритетні напрямки та завдання моніторингу в масштабах окремих територій з підвищеним антропогенним навантаженням.

В Україні проводяться наступні загальнодержавні моніторинги: моніторинг якості повітря, моніторинг стану вод суші, моніторинг прибережних вод, моніторинг стану ґрунтів, моніторинг показників біологічного різноманіття, моніторинг радіаційного випромінювання.

1.3 Огляд існуючих рішень геоінформаційного забезпечення моделювання екологічного стану навколишнього середовища.

В дипломній роботі будуть розглянуті методи екологічного моделювання за допомогою ГІС систем. Для такого моделювання зручно використовувати геостатичний аналіз явищ та показників, і представлені дискретними

значеннями в окремих пунктах спостереження, або взяття проб: забруднення ґрунту та повітря важкими металами, агрохімічні показники ґрунту. ГІС - аналіз таких показників дозволяє будувати карти щільності розподілу ознаки за кольором чи у вигляді ізоліній. Для більш глибокого статистичного аналізу можливе використання спеціалізованого модуля. Використовуючи виміряні значення в опорних точках за допомогою даного модуля можна інтерполювати значення в межах даної території. Для оцінки статистичних властивостей даних, таких як перемінність, залежність та глобальні тренди, використовуються інструменти дослідницького аналізу. Геостатичний аналіз даних проходить в два етапи:

- 1) Моделювання варіаграмми або коваріації для аналізу властивостей поверхні;
- 2) Крігінг. В модулі Geostatistical Analyst можливе використання цілого ряду методів оснований на крігінгу.

Модель слід створювати в наступній послідовності:

- Перший етап це збір та імпорт інформації в середовище ГІС.
- Другий етап . Для прийняття оптимальних рішень при побудові поверхні моделі необхідно краще вивчити набір даних, необхідно звернути увагу на очевидні помилки у вихідній вибірці, дослідити розподіл даних і т.д.

Третій етап. Визначається модель, яку необхідно використати для побудови поверхні.



Рис.1 3 Схема створення моделі

Четвертий етап. Оцінка результатів моделювання. Дасть зрозуміти наскільки добре модель інтерполює невідомі значення. П'ятий етап. Якщо побудовано декілька моделей, порівняння дасть змогу визначити яка з них більш якісно подає данні.

Ще один напрямок використання ГІС – моделювання процесів затоплення територій в результаті паводків чи повеней, а також затоплення територій в

наслідок підняття ґрунтових вод. Цей інструментарій реалізований в спеціальному модулі ArcGIS Spatial Analyst просторового аналізу з функціями гідрологічного моделювання. Працює він тільки при наявності трьохмірної моделі рельєфу, яка будується по векторизованим показникам рельєфу топографічних карт і планів(горизонталі, відмітки висот) або по результатам геодезичних вишукувань.

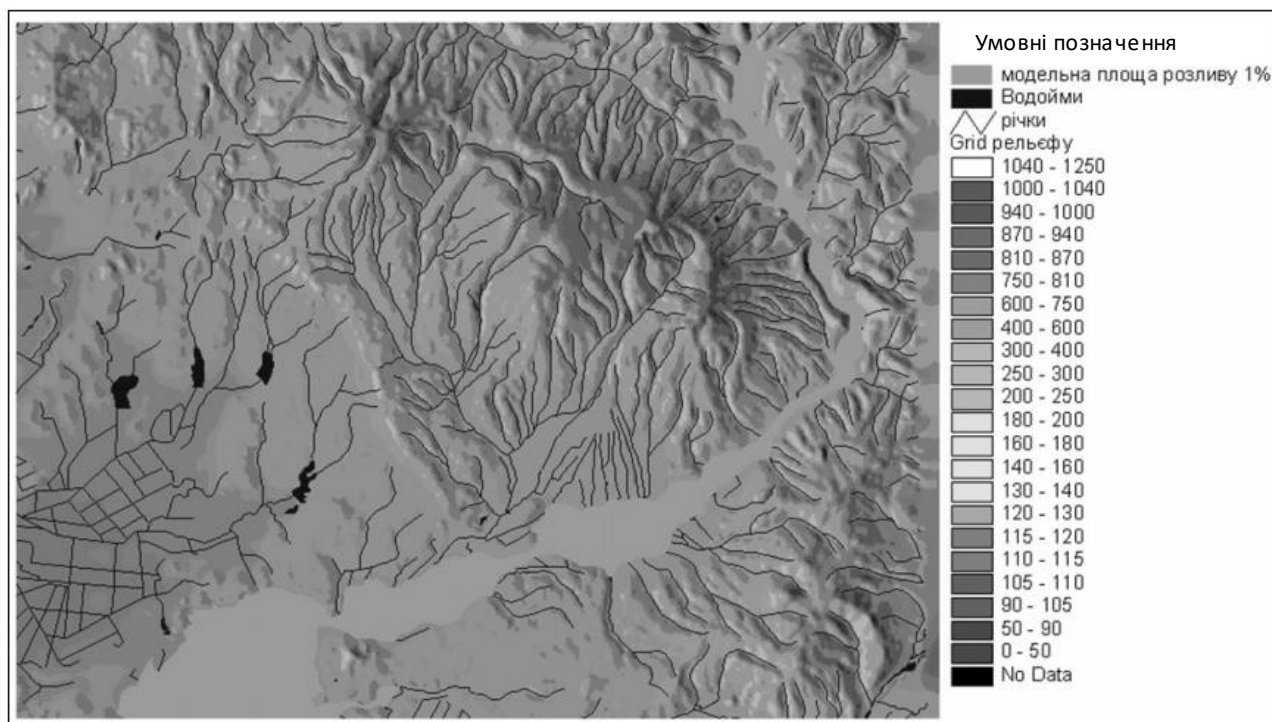


Рис.1.4. Моделювання площ паводкових затоплень (по матеріалам ЗАО "ECOMM Co.")

Геоінформаційні системи можуть виступати і в якості інструментарію для аналізу захворюваності населення від впливу забруднення повітря, води, ґрунту. В якості прикладу можна привести результати моделювання по м.Києв.

В програмному середовищі Qgis існує модуль для тривимірного аналізу - Vertical Mapper. За допомогою даного програмного забезпечення можна створювати тривимірні моделі за наявними координатами, проводити різноманітні дослідження по отриманих моделях. Відображення ще одного виміру в зображенні просторово-розподілених даних забезпечує механізм більш складного аналізу з різних шарів карти, що в повній мірі реалізується в модулі Vertical Mapper. Використання Vertical Mapper необхідно у випадках

безперервного розподілення просторових даних, для отримання значень в кожній точці простору. В програмі Vertical Mapper такий механізм реалізовано шляхом створення растрових зображень для Qgis, де кожен фрагмент растру співвідноситься з певним значенням ознаки, що відкриває зовсім нові можливості показу і аналізу даних.

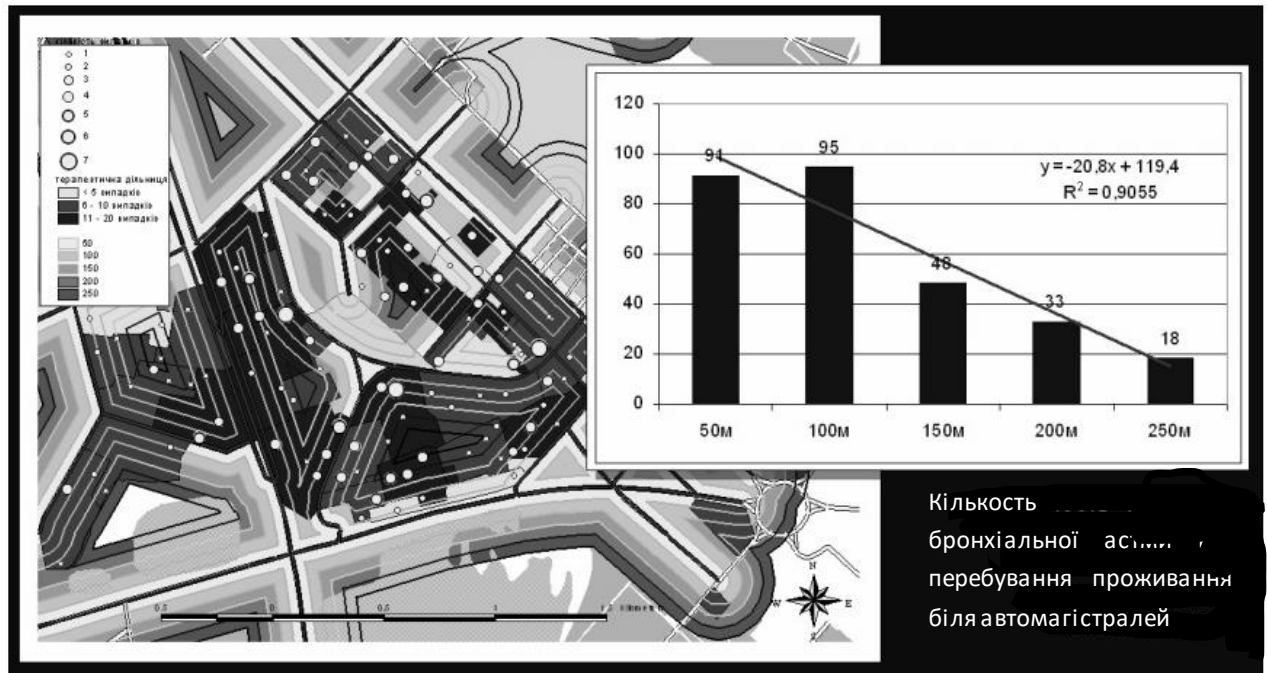


Рис.1.5. Дослідження екологічних зон ризику захворюваності бронхіальною астмою методом просторового аналізу в ГІС.

Робота з даними безперервного розподілу ґрунтується на процесах інтерполяції та моделювання, які реалізовані в модулі Vertical Mapper. Ці підходи суттєво відрізняються між собою за принципом побудови поверхонь, що дозволяє обирати найбільш ефективний спосіб залежно від обсягу вихідних даних і особливостей їх просторового розміщення. У Vertical Mapper передбачено три основні методи інтерполяції: IDW-інтерполяція (метод зворотно-зважених відстаней), триангуляційний метод на основі TIN-моделі та квадратична інтерполяція (метод прямокутників). Вибір конкретного методу визначається характеристиками вихідних даних і цілями дослідження.

У таблиці 1.1 наведено основні програмні засоби, які використовуються для створення GRID-сіток. Одним із найбільш функціональних рішень є програмне забезпечення Surfer, яке містить широкий набір методів інтерполяції

та інструментів візуалізації поверхонь. Разом з тим, результати, отримані в цьому середовищі, не завжди зручно інтегрувати в ГІС-платформи, що може ускладнювати їх подальший аналіз. Програмні модулі компаній ESRI та Pitney Bowes орієнтовані на роботу в спеціалізованих геоінформаційних системах. Їх функціональні можливості багато в чому подібні та включають потужний набір інструментів для просторового аналізу, моделювання та обробки геоданих.

Таблиця 1.1

Порівняльний аналіз можливостей програмного забезпечення

Функції	ArcGis Spatial Analyst Qgis	MapInfo Vertical Mapper	Surfer
Створення grid сітки	"+"	"+"	"+"
Інтерполяція методом "крігінг"	"+"	"+"	"+"
Інтерполяція методом "найближчий сусід"	"_"	"+"	"+"
Інтерполяція методом "мінімальної кривизни"	"+"	"_"	"+"
Підтримка геопросторових даних	"+"	"+"	"_"
Просторовий аналіз	"+"	"+"	"_"

1.4. Особливості застосування геоінформаційних моделей при аналізі екологічного стану міського середовища

Слід зазначити причини вибору міста Київ як об'єкта екологічного моделювання. Київ є столицею України, найбільшим містом держави та важливим адміністративним, економічним, промисловим і транспортним

центром. Значна площа міста, велика чисельність населення та високе антропогенне навантаження обумовлюють актуальність проведення екологічного моделювання для оцінки стану довкілля та прогнозування можливих екологічних ризиків.

Однією з актуальних екологічних проблем у Київському регіоні є забруднені водойми, які залишаються однією з найгостріших екологічних викликів. Річка Дніпро протікає через місто, разом з численними малими річками, озерами та струмками, а також малими водозбірними басейнами, які є джерелом забруднення води, що має розглядатися як знищене через антропогенне пошкодження. Незважаючи на впровадження належних методів збереження, несанкціоновані сміттєзвалища іноді зустрічаються в деяких частинах міста, особливо поблизу водойм, зелених зон та околиць міста, а також у навколишніх районах. Під час епізодів опадів та танення снігу навесні забруднювачі можуть потрапляти у поверхневі води, що призводить до зниження якості, впливає на водне середовище та створює екологічні загрози для людей. Негативні наслідки включають втрату біорізноманіття, погіршення санітарного стану водойм або зменшення площі земель як місця для рекреаційних або мальовничих цілей для прибережних зон. Транспорт впливає на екологію міста. Київ є найбільшим транспортним вузлом в Україні, і велика кількість транспортних засобів щодня пересувається його дорожньою мережею. Це збільшення використання автомобілів населенням сприяє збільшенню транспортного навантаження та заторів на основних магістралях і в центральній частині Києва, а також у місцевих районах. Однак за таких інтенсивних транспортних умов двигуни внутрішнього згоряння виробляють більше забруднювачів, таких як оксиди азоту, чадний газ, вуглекислий газ і зважені частинки. В результаті якість повітря погіршується, і ризик респіраторних захворювань може зрости. Ще однією критичною екологічною проблемою є повені, такі як влітку під час весняних паводків або дощових сезонів у деяких районах.

Оскільки великі території Києва знаходяться в долині Дніпра, затоплення прибережних зон, земельних ділянок та інженерної інфраструктури під загрозою. Це особливо актуально після тривалих дощів або сильних снігопадів взимку. Використання геоінформаційних технологій та створення моделей зон ризику затоплення рекомендується для визначення потенційної загрози, планування превентивних дій та відповідних заходів для запобігання негативним наслідкам. Екологічна система Києва також зазнає впливу промислових підприємств, енергетичних об'єктів, теплових електростанцій та транспортних систем. Під час їхньої роботи в атмосферу додаються оксиди азоту, діоксид сірки, чадний газ, пил та інші забруднювачі. А з активним міським розвитком зростає кількість будівельних відходів, більше антропогенних впливів і менше зелених зон одночасно, що сприяє додатковому екологічному навантаженню.

Це може призвести до втрати екологічного балансу міської екосистеми та зниження якості життя міських жителів. У місті є промислові підприємства та заводи, які впливають на його екологічний стан. Через їхню діяльність в атмосферу викидаються тверді частинки, оксиди вуглецю, вуглекислий газ та кілька інших забруднювачів. Додаючи ще один шар екологічного навантаження від гірничодобувного комплексу, в якому граніт видобувається на глибині близько 65 м. Робота кар'єру призводить до осідання пилу, шуму та змін навколишнього природного рельєфу.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ БАЗИ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

2.1 Розроблення функціональної та структурної моделей бази геопросторових даних

Інформаційна система буде виконувати наступні дії (рис.2.1):

- Визначення місць забруднень;
- Оцінювання стану екології міста;
- Демонстрація екологічного стану міського середовища;
- Зонування територій при оцінюванні земельних ділянок.

Головною метою таких завдань є виявлення осередків забруднення на території міста. Також до них відноситься визначення зон впливу кожного окремого джерела забруднення. У результаті виконаних робіт можна сформувати повну картину екологічного стану міського середовища, що дає змогу провести комплексну оцінку екологічної ситуації, визначити основні проблеми та можливі шляхи їх вирішення. Ці завдання виконуються міськими санітарно-епідеміологічними службами.

Мешканці міста можуть не володіти інформацією про фактичний стан екології, або ж вона може бути подана у вигляді числових показників, які складно сприймаються без спеціальної підготовки. Створену модель можна подати у графічному форматі та наочно показати проблемні ділянки на різних територіях. Останній варіант використання є доцільним у сфері операцій з нерухомістю, зокрема при продажу земельних ділянок. Відомо, що на вартість землі впливає низка чинників, серед яких важливе місце займає екологічний стан території. Таким чином з'являється можливість здійснити екологічне зонування міста. Основою такого зонування виступає екологічна ситуація, що дозволяє сформувати території, поділені на чисті, відносно чисті, забруднені та сильно забруднені. Користувачами подібної системи є широке коло зацікавлених осіб, серед яких не всі є фахівцями у сфері ГІС-технологій.

Наприклад, звичайні громадяни не обізнані з можливостями ГІС-програм, тому подання інформації для них доцільно реалізовувати у спрощеній формі, і найкращим варіантом є використання веб технологій, зокрема спеціалізованого інтернет-ресурсу.

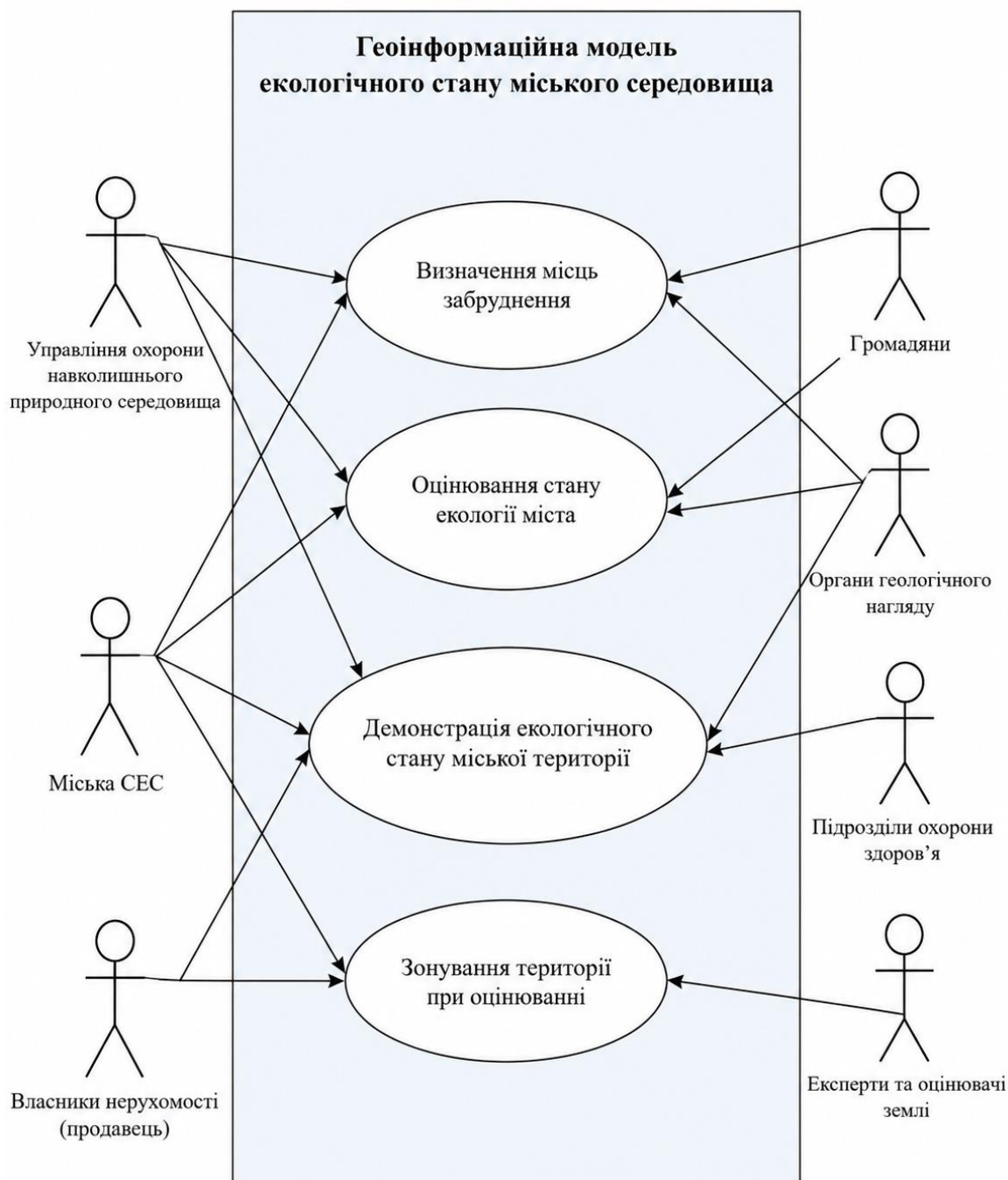


Рис. 2.1 Загальна функціональна модель геоінформаційного моделювання екологічного стану міського середовища

Отже, дані будуть представлені найширшому колу мешканців міста. Одним з обмежень є те, що на такому ресурсі буде повідомлятися лише

найважливіша інформація, а більш детальна та точна інформація буде доступна наступним користувачам. Міські чиновники потребують розгорнутих даних про кількість шкідливих викидів в атмосферу, концентрації забруднень по районах та основні джерела забруднення.

Ця інформація також необхідна для досліджень та розробки заходів щодо зменшення антропогенного навантаження на навколишнє середовище. У свою чергу, приватні організації дуже стурбовані якісними показниками стану міського середовища, які застосовуються у практичній діяльності, головним чином через продаж земельних ділянок або будівництво об'єктів нерухомості. Такі користувачі в основному використовують набори даних, що містять екологічне зонування територій. Структурна модель геоінформаційного моделювання стану навколишнього середовища (Рис. 2.2) представляє список системних об'єктів та зв'язків між ними. Все зберігається в базі даних (БД).

Дані структуровані в взаємопов'язані компоненти для забезпечення можливості доступу. СУБД, тим часом, є системою для створення, підтримки, зберігання та використання баз даних. СУБД складається з ряду функціональних модулів: ядра, яке здійснює управління зовнішньою та оперативною пам'яттю, збереженням даних та веденням журналу; процесора мови бази даних, що забезпечує відповідний вибір та маніпуляцію даними шляхом написання, обробки та збереження запитів і генерує машинно-незалежний виконуваний код; підсистеми підтримки виконання, яка інтерпретує програми обробки даних, що використовуються в обробці даних, та надає інтерфейс користувача з СУБД; утилітних програм, що реалізують функції для роботи геоінформаційної системи. Запропонований проект включатиме будівництво клієнт-серверної бази даних, де СУБД розташована на сервері разом з БД і може безпосередньо взаємодіяти з нею в монопольному режимі. Серверна СУБД обробляє всі запити клієнтів.

Обмеженням клієнт-серверної архітектури є те, що існує більший попит на обчислювальні ресурси сервера. З іншого боку, її переваги включають

менше навантаження на локальну мережу, централізацію управління та кращу операціоналізацію таких атрибутів, як надійність, доступність та безпека. PostgreSQL буде служити системою управління базами даних у цій роботі.

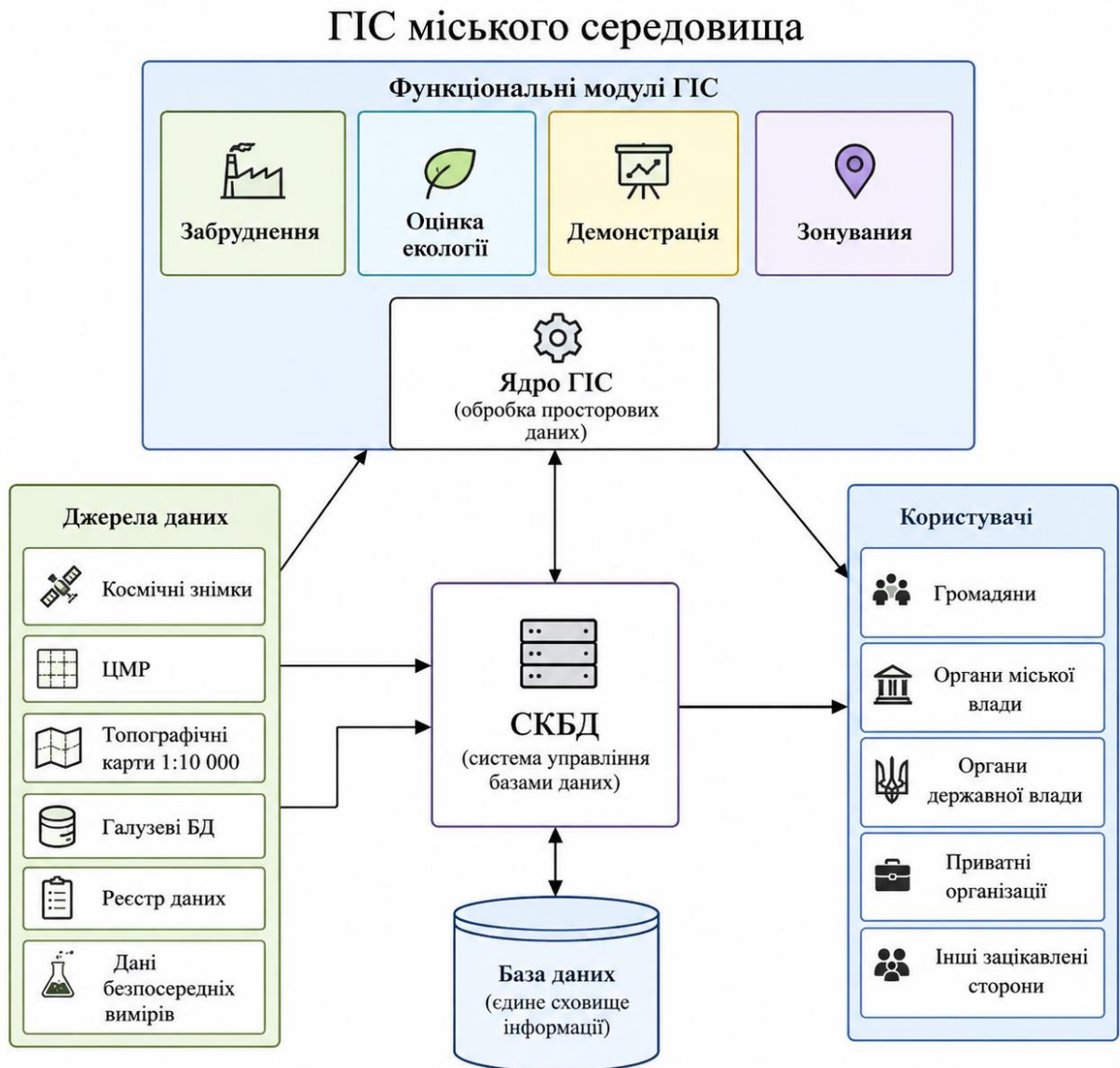


Рис. 2. 2 Структурна модель геоінформаційної системи моделювання міського середовища

Щодо джерел даних, у роботі будуть використані як картографічні матеріали, зокрема космічні знімки, цифрові моделі рельєфу (ЦМР), топографічні карти та інші просторові дані. Важливо також враховувати можливість інтеграції різних галузевих баз даних як через СКБД, так і безпосередньо через інструментальні ГІС-середовища. Додатковим джерелом

інформації є дані про екологічний стан територій, включаючи реєстри, результати польових вимірювань та каталоги підприємств. Основним сховищем усіх даних виступає база даних (БД).

ГІС використовується як програмна система, що взаємодіє зі СКБД та обробляє як просторову, так і атрибутивну інформацію. Процес моделювання реалізується у спеціалізованих програмних модулях, які можуть бути представлені як розширення інструментальних ГІС або як вбудовані функції для виконання окремих етапів аналізу. Кожен модуль виконує визначену функцію в межах загального процесу обробки даних.

Під час виконання роботи не передбачається жорсткої прив'язки до однієї ГІС-платформи. Використання централізованого зберігання даних у БД забезпечує інтероперабельність, що дозволяє працювати з інформацією у різних програмних середовищах одночасно. Це дає змогу поєднувати переваги різних ГІС-інструментів під час моделювання без втрати даних при їх перенесенні між системами. На рис. 2.3 розглянуто діаграму послідовності визначення місць забруднення.

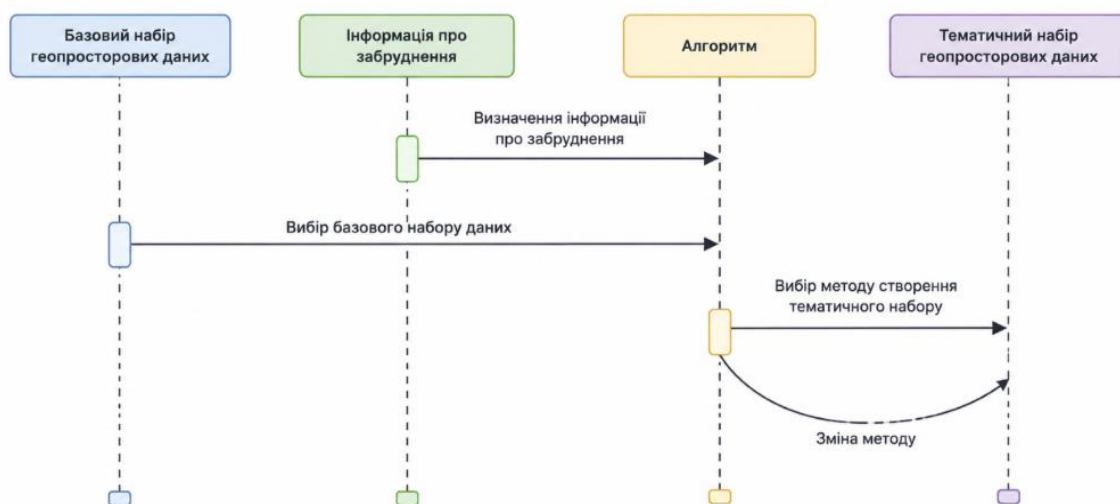


Рис. 2.3 Послідовність визначення місць забруднення

Початок роботи полягає у виборі базового набору геопросторових даних та інформації про забруднення, вплив якого потрібно визначити. Базовий набір геопросторових даних може включати як картографічні матеріали, так і різні

види інформації, що впливають на навколишнє середовище та містять географічні дані. Усі дані враховуються в алгоритмі визначення місць забруднення, в результаті чого формується тематичний набір геопросторових даних. На рисунку 2.4 показано діаграму послідовності виконання екологічної оцінки.

Для цього необхідно використовувати раніше отриманий тематичний набір даних. Перший етап – це вибір фактора забруднення, який потрібно оцінити; використовуючи тематичний набір, уточнюються показники забруднення, які потрібно порівняти з існуючими санітарними нормами та регламентами. В результаті виконується екологічна оцінка, яка вказує на стан екологічного середовища, чи є воно в доброму, задовільному чи поганому стані.

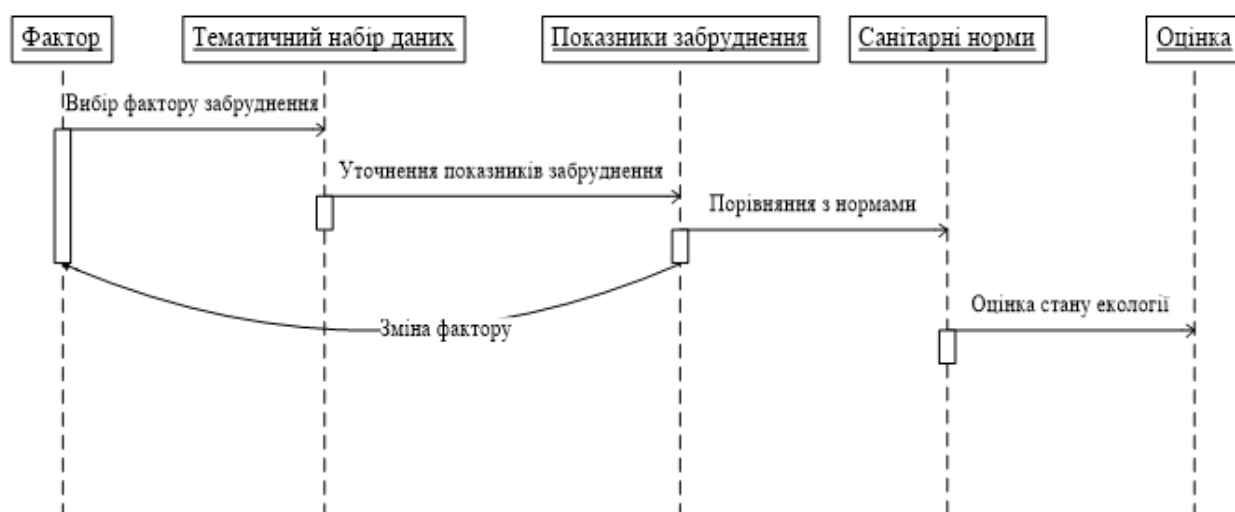


Рис. 2.4 Послідовність виконання оцінки екології

Для демонстрації забруднення (рис 2.5) необхідно створити тематичну карту. Для цього необхідно вибрати певний критерій, за яким буде побудована тематична карта, вибрати спосіб створення тематичної карти. За допомогою отриманої тематичного набору даних будуть створені статистичні звіти, за допомогою яких можлива демонстрація стану екологію в тому чи іншому районі міста.

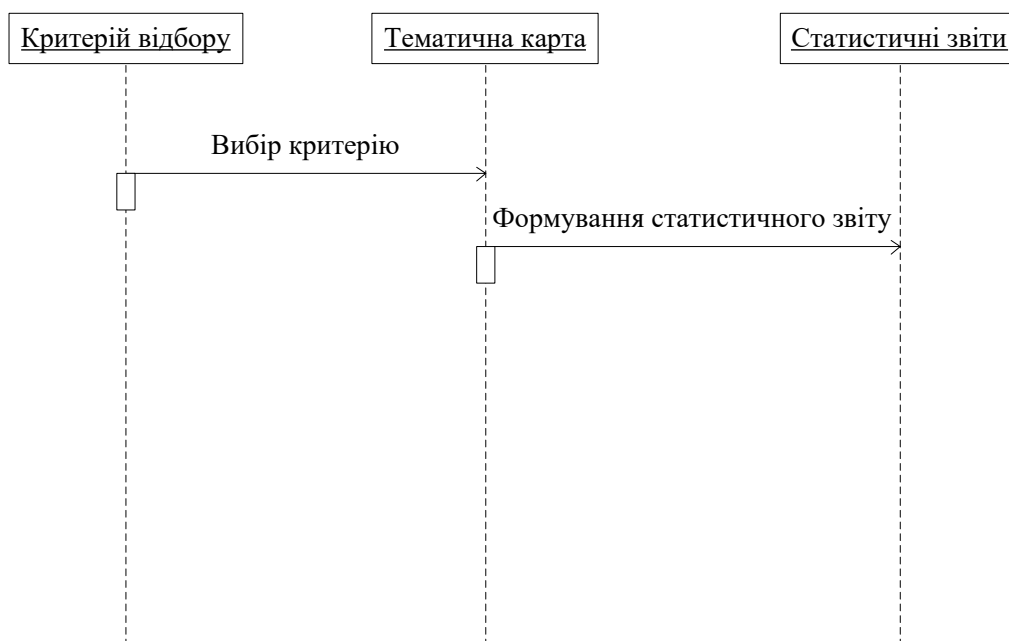


Рис. 2.5 Послідовність демонстрації забруднення

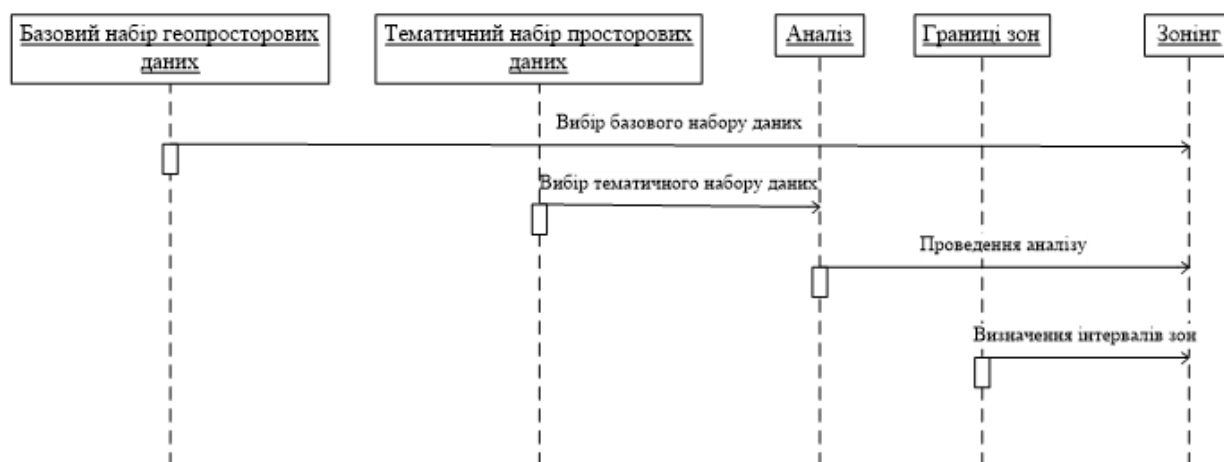


Рис. 2.6 Послідовність виконання зонінгу

Для проведення зонінгу (рис. 2.6) необхідно за картографічною основою, та за додатковою інформацією з моделі, вибравши з неї всі елементи, які цікавлять оператора, та вибравши інтервали зон можна провести безпосередній зонінг. В результаті отримано графічний звіт.

2.2 Розроблення концептуальної моделі бази геопросторових даних

Концептуальна модель – абстрактна модель, яка виявляє причинно-наслідкові зв'язки, властиві досліджуваному об'єкту в межах, визначених цілями дослідження. По суті, це формальний опис об'єкта моделювання, який відображає концепцію (погляд) дослідника на проблему.

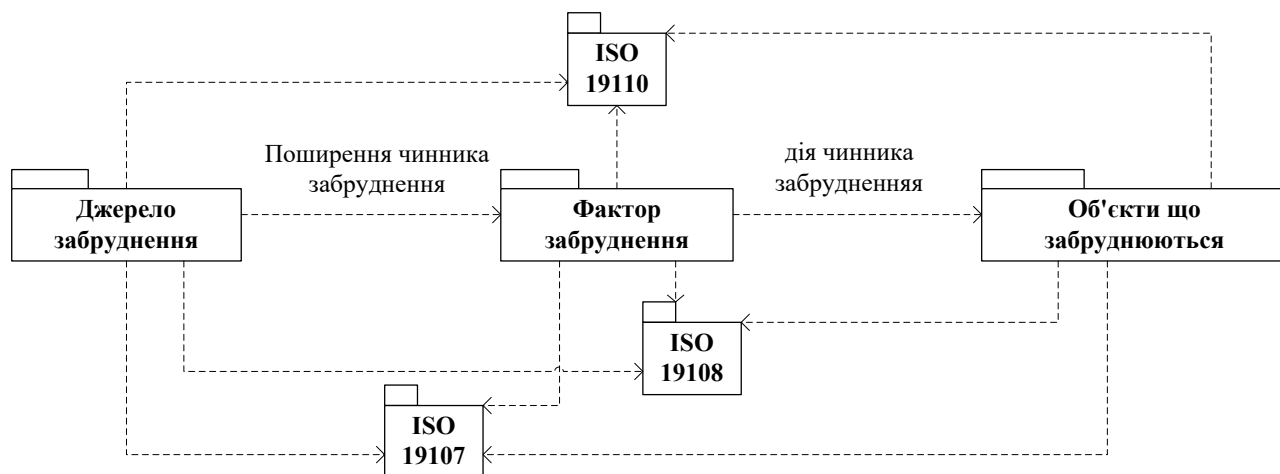


Рис. 2.7 Концептуальна модель процесу забруднення

Ця структура (рис. 2.7) ілюструє взаємодію забруднювачів, інтегруючи пакет «Джерело забруднення» з пакетом «Фактор забруднення». Взаємодія відбувається у два етапи: поширення фактора забруднення та його наслідки. Як зазначено, ці пакети потрібно описати в базі даних. Пакет «Джерела забруднення» має чотири класи об'єктів: транспортні системи, інженерні мережі, промислові об'єкти та звалища. Кожен з цих класів має свій набір екологічних наслідків. Ступінь, до якої транспортні засоби викидають шкідливі викиди, залежить від того, наскільки використовується дорожня мережа. Атрибут «навантаження» може бути розрахований як 1 до 3 (1 вказує на низький рівень навантаження, 2 на середній і 3 на високий). Таким чином, ширина буферної зони, створеної дорожніми шляхами, базується на значенні цього атрибуту. Параметр «прохід великих транспортних засобів» також важливий, оскільки високий рівень шуму та викидів газів відбувається в

районах з частим рухом великих і довгих транспортних засобів. Клас «Промислові об'єкти» також класифікує об'єкти легкої промисловості та гірничі підприємства. Третій клас джерел забруднення — це звалища, які включають тип, чи є вони спонтанними чи організованими.

Система ISO 19100 (Стандарт) базується на принципах сучасних інформаційних технологій, розвиваючи їх з урахуванням специфіки геопросторових даних та їх застосування в прикладних системах. Дані, пов'язані з їх розташуванням, враховуються в таких аспектах: просторові структури та часові структури, просторові властивості, просторові операції або методи, топологія та якість. Стандарти 19107 (Просторова схема — просторові характеристики об'єктів), 19108 (Часова схема — часові характеристики об'єктів) та 19110 (Методологія каталогізації типів об'єктів) визначають принципи комп'ютерного формату для картографування геоінформації. Геометричний вигляд об'єктів показано на Рисунку 2.8. Лінійні об'єкти — це транспорт; автомагістралі, залізничні лінії та лінійні гідрографічні елементи. Полігональні об'єкти включають промислову діяльність та приватне виробництво, екологічне забруднення, звалища, площинні гідрографічні поверхні, рекреаційні зони, міське житло або промислові блоки, житлові та інфраструктурні, нежитлові та комерційні види діяльності. Крім цих площинних об'єктів, також показані буферні зони, створені в процесі буферного аналізу.

Точки моніторингу також містять точкові об'єкти, які мають дані про пряму концентрацію забруднювачів у навколишньому середовищі. Невеликі джерела забруднення, включаючи спонтанні звалища, також представлені як точкові об'єкти. Тепер ми проведемо дуже детальну класифікацію. Як показано на Рисунку 2.9, відображено типи промислових об'єктів. Типи промислових об'єктів, представлених у моделі, в основному є заводами, фабриками та кар'єрами. Клас: «Забруднюючі об'єкти» включає деталі цього конкретного промислового об'єкта, його географічну площу та власну назву.

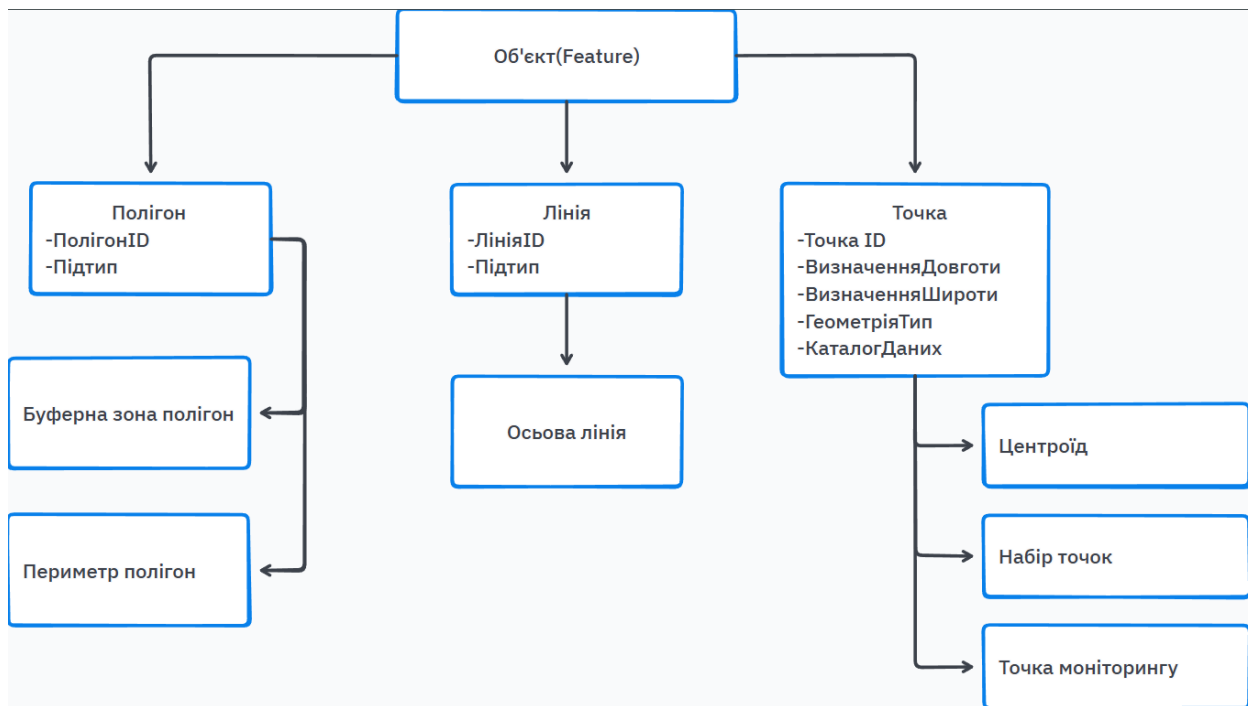


Рис. 2.8 Концептуальна модель геометричного подання об'єктів

Клас *Об'єкти* що забруднюються містить інформацію про об'єкти на які діють забрудники, цей процес описаний відношенням композиції «забруднюю - забруднюється». Типом даних до таблиці виступає перелік : атмосфера, водні ресурси та ґрунт. Розглянемо клас об'єктів *Транспортні системи*, зображений на рис. 2.10.

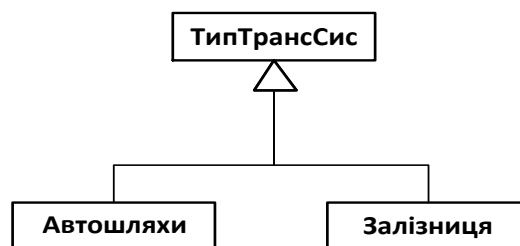


Рис. 2.10 Типи транспортних систем.

На рис 2.11 зображено клас *Автошляхи*, між наборами даних *Автошляхи* та *Елементи дороги* існує відношення 1...1, тобто кожному відрізку дороги припадає свій елемент.

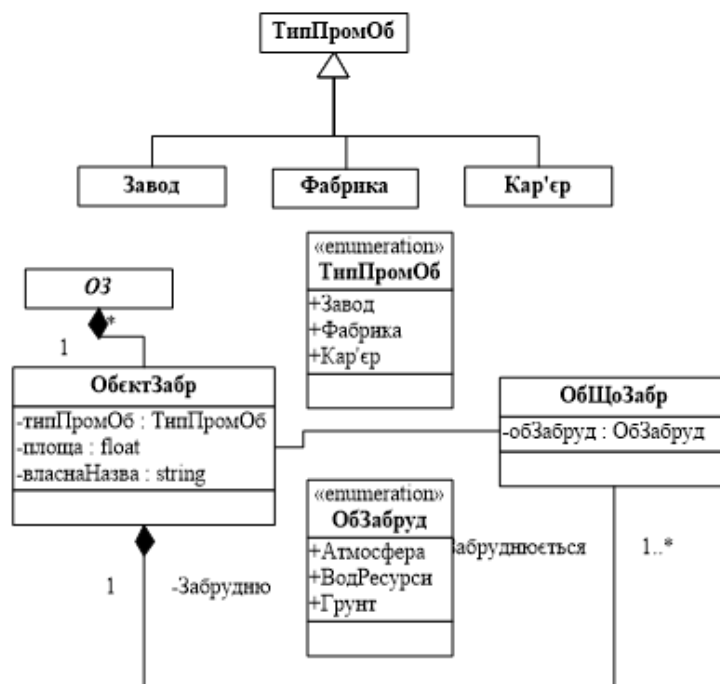


Рис. 2.9 Клас «Типи промислових об'єктів»

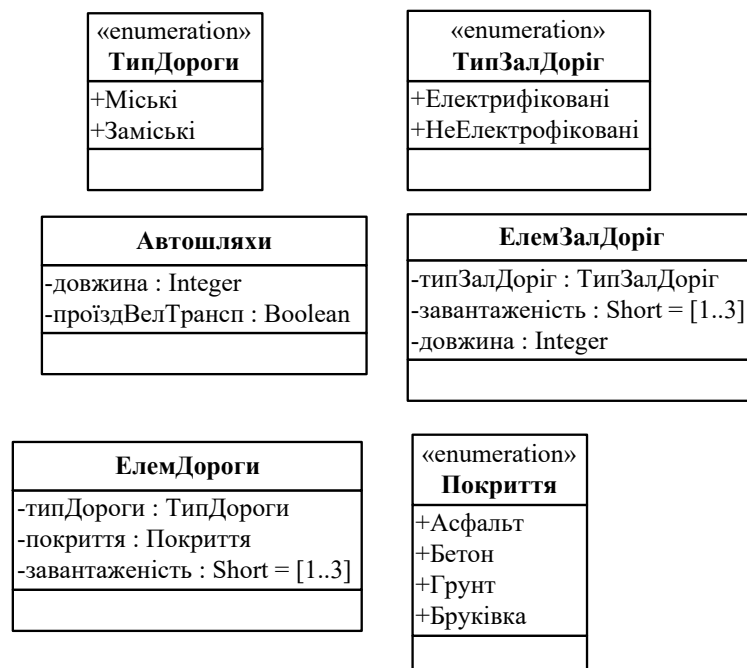


Рис.2.11 Клас «Транспортні системи»

Клас *Автошляхи* містить інформацію про довжину відрізка дороги та дані про проїзд великогабаритного транспорту, останній атрибут може набирати значення true або false, тобто чи пересуваються великогабаритні автомобілі на даному відрізку дороги чи ні. Існують такі класифікатори доменів значень: Тип дороги, Завантаженість, Покриття, Тип Залізної дороги. Набір Елементи залізних доріг містить 4 атрибути : тип, завантаженість, довжина та викиди. На рис 2.12 розглянуто пакет «Фактори забруднення», описуються фактори які впливають на середовище, надтипи *Матеріальні фактори* та *Енергетичні фактори*. В класі *Матеріальні фактори* розглянуті основні види викидів, які будуть підтипами: це *Викиди в повітря*, *Стічні води* та *Тверді відходи*.

Важливо підкреслити, який вид енергетичного забруднення це може бути: шум, вібрація, теплові викиди та іонізуюче випромінювання. Ці підкласи не мають властивостей; вони лише мають атрибут "значення забруднення", яке буде успадковане від суперкласу Енергетичні фактори. У кожному класі воно отримає свої власні значення, будь то в децибелах для шумового забруднення або в мілізівертах для іонізуючого випромінювання. Пакет "Міське середовище" (Рис. 2.13) ілюструє компоненти, включені в моделювання. Ці класи включають гідрографічні об'єкти, міські блоки, території, рекреаційні зони та розвиток. Кожен об'єкт займає певну територію, яка має свою площу та довжину (вздовж осьової лінії), тому всі інші класи пов'язані з цим класом. Клас Природні гідрографічні об'єкти відповідає за гідрографічні об'єкти.

Дані про ступінь урбанізації та типи використання земель доступні в класі Міські блоки. Клас Рекреаційні зони описує тип таких зон та їх потенціал для кожного об'єкта. Клас Розвиток містить інформацію про житлові та нежитлові будівлі, кількість поверхів у кожній з них та скільки людей у них проживає.

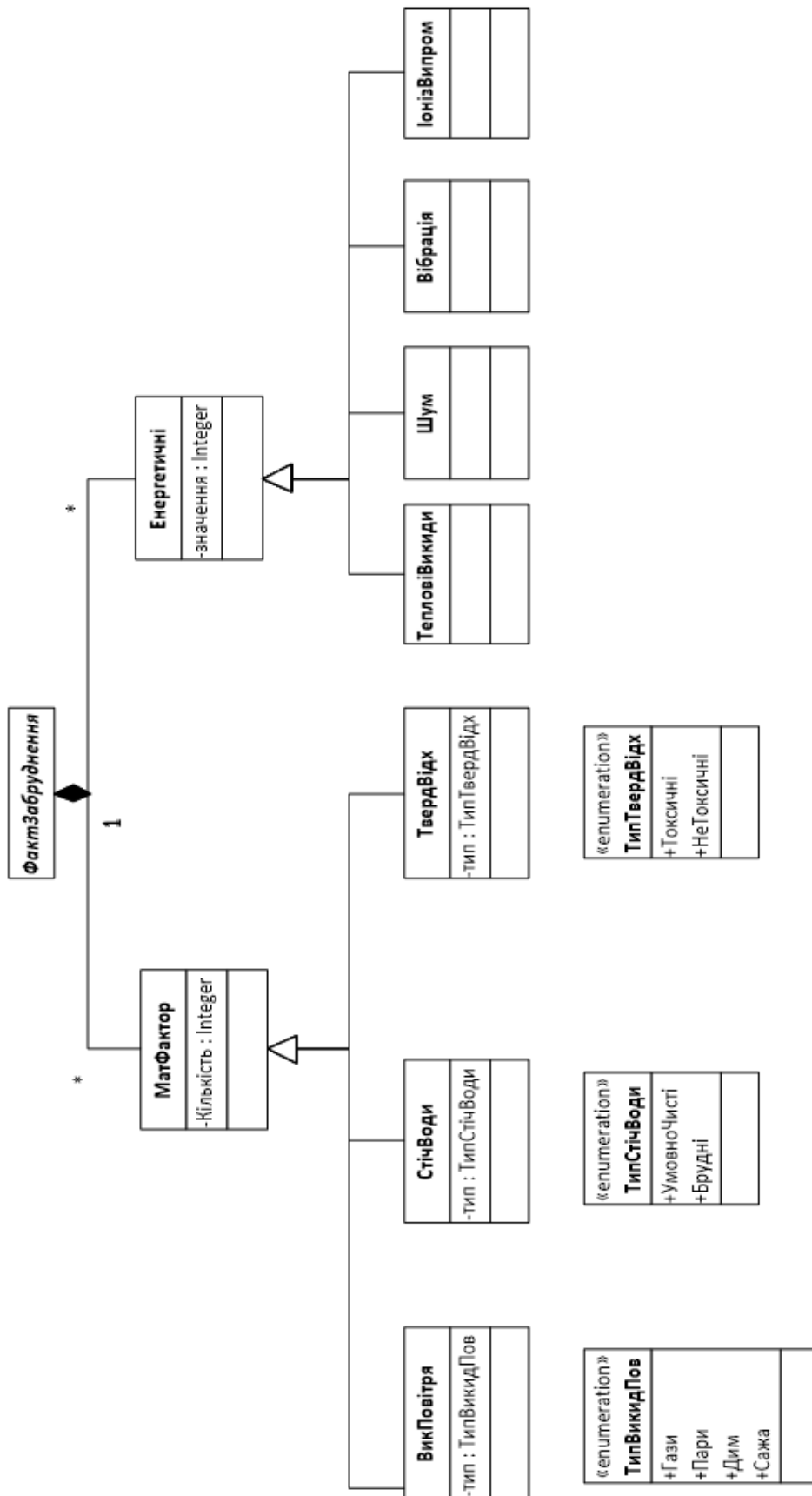


Рис. 2.12 Пакет Фактори забруднення

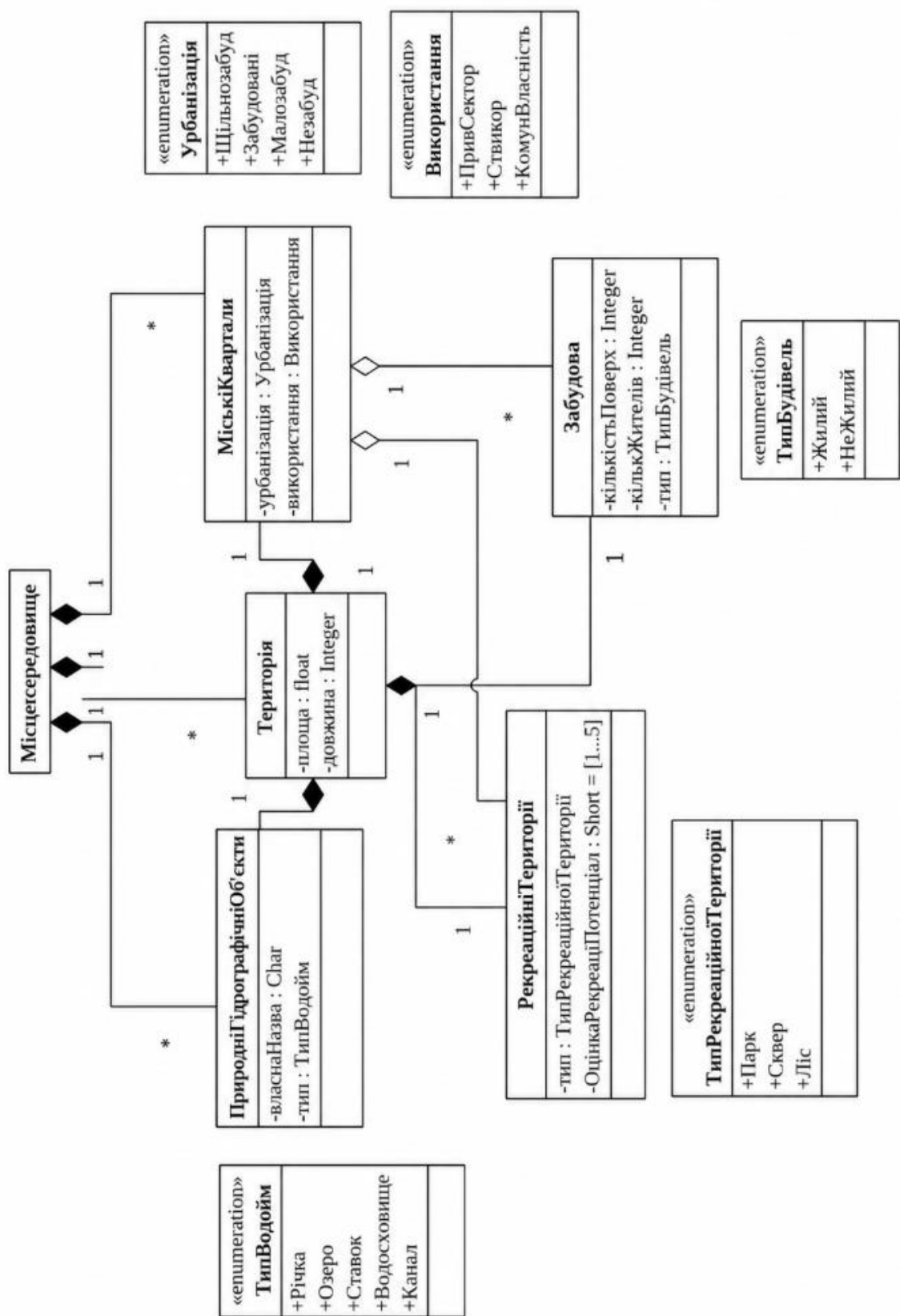


Рис. 2.13 Пакет Міське середовище

2.3 Інформаційно-логічна модель бази геопросторових даних

Інфологічна модель - це формалізований опис предметної області, що виконується без орієнтації на програмні і технічні засоби, які в подальшому будуть використовуватись. Інфологічне моделювання - це процес розробки і використання інфологічних моделей для вирішення практичних задач предметної області. Тому перш ніж почати проектування бази даних, необхідно як слід розібратися, як функціонує предметна область, для відображення якої створюється БД. Для цього використовують штучні формалізовані мовні засоби.

У зв'язку з цим під інфологічною моделлю (ІІМ) розуміють опис предметної області, виконаний із використанням спеціальних мовних засобів, що не залежать від подальших програмних рішень. Основними складовими інфологічних моделей є сутності, зв'язки між ними та їхні властивості (атрибути). Розроблена інфологічна модель включає 24 таблиці, які містять детальний опис об'єктів, що використовуватимуться при моделюванні екологічного стану міського середовища. Таблиця «Автошляхи» містить дані про довжину дорожнього сегмента, можливість проїзду великогабаритного транспорту та тип викидів. Таблиця «Елементи дороги» включає такі поля: тип дороги, покриття та рівень завантаженості. Таблиця «Залізниця» містить записи про тип залізничної ділянки, довжину проїзду та завантаженість.

Наступні чотири таблиці містять відомості про інженерні мережі. Таблиця «Промислові об'єкти забруднення» включає записи про промислові об'єкти: тип підприємства, площу та власну назву. Таблиця «Сміттєзвалища» містить атрибути, що характеризують сміттєзвалища: площу, тип і обсяг відходів. Наступні таблиці описують фактори забруднення, які поділяються на матеріальні та енергетичні. Таблиця «Матеріальні фактори» є узагальнюючою

для таблиць «Викиди в повітря», «Стічні води» та «Тверді відходи». Таблиця «Енергетичні фактори» подається окремо. Таблиця «Викиди в повітря» містить інформацію про типи викидів: гази, пари, сажу та дим. Таблиця «Стічні води» має атрибут типу, що описує різновиди стічних вод. Таблиця «Тверді відходи» також містить атрибут типу, який характеризує види відходів.

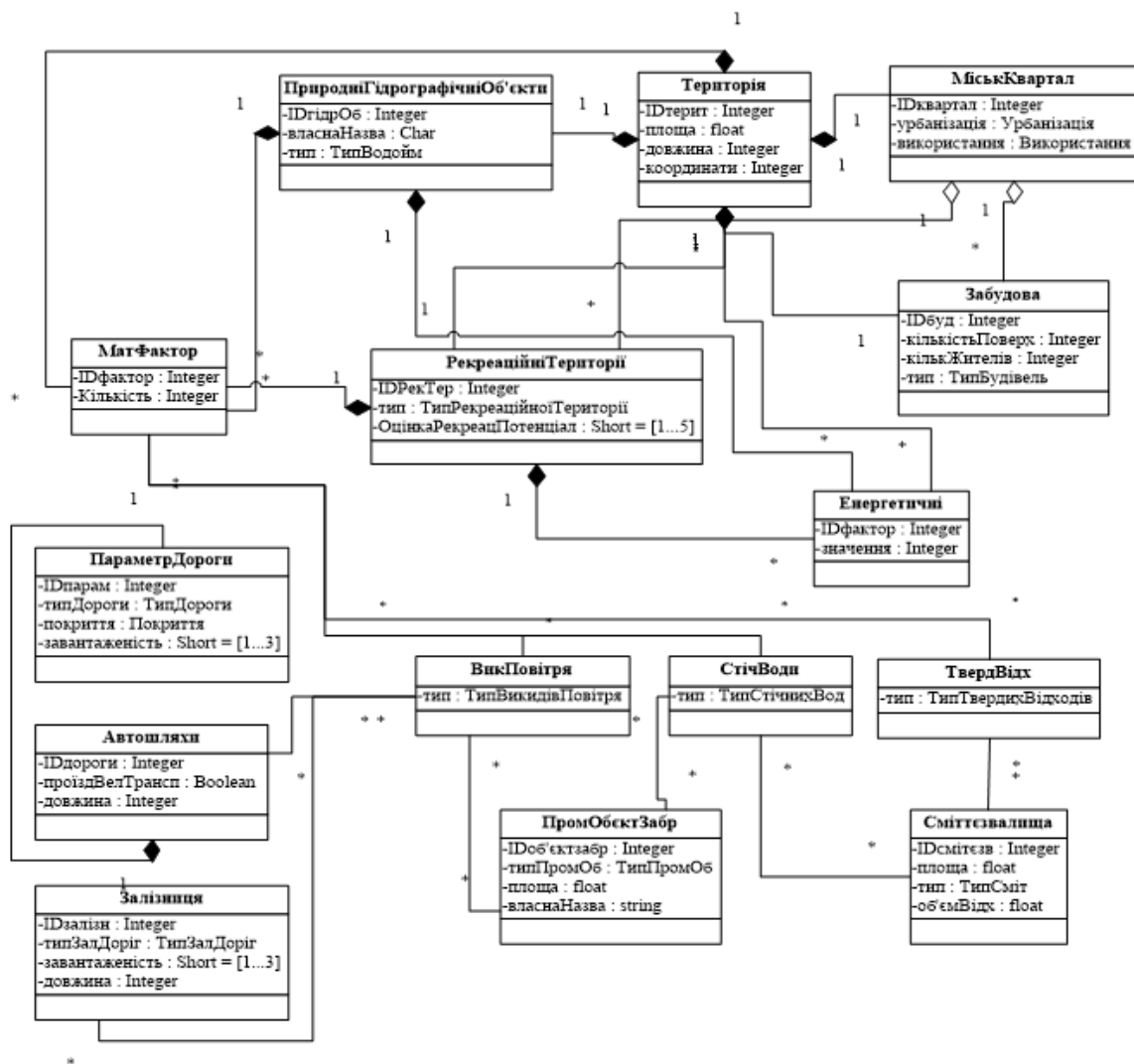


Рис. 2.14 Інфологічна модель бази даних

Далі — «Енергетичні викиди». Наступні таблиці описують середовища забруднення, тобто міське середовище. Таблиця «Міські квартали» містить атрибути: урбанізація, інформацію про ступінь забудови району та характер

використання території. Таблиця «Гідрографічні об'єкти» містить атрибути: назву та тип водойми. Таблиця «Рекреаційні території» включає атрибути: тип рекреаційної території та оцінку її рекреаційного потенціалу. Таблиця «Забудова» містить інформацію про будівлі, зокрема їх тип, кількість поверхів та кількість жителів. Таблиця «Територія» містить відомості про просторове положення всіх об'єктів, що представлені в попередніх чотирьох таблицях; її атрибутами є площа, довжина (по осьовій лінії) та координати кожного об'єкта.

2.4 Фізична модель бази геопросторових даних

Фізична модель даних описує дані засобами конкретної системи керування базами даних (СКБД). Відношення, які були сформовані на етапі створення логічної моделі даних, трансформуються у таблиці, атрибути перетворюються на стовпці таблиць, для ключових атрибутів створюються унікальні індекси, а домени відображаються у типи даних, що підтримуються конкретною СКБД.

СКБД PostgreSQL підтримує широкий спектр вбудованих типів даних: числові, текстові, цілі числа, типи з фіксованою або плаваючою комою, символічні, бінарні тощо. Крім того, користувач має можливість самостійно створювати необхідні типи даних та реалізовувати для них механізми індексування із використанням ГІС-функціоналу.

Було розроблено фізичну модель, яка включає таблиці: Road_parametr – «Параметри дороги», Roads – «Автошляхи», Railway – «Залізниця», Landfill – «Сміттєзвалище», Industrial_objects_of_pollution – «Промислові об'єкти забруднення», Air_pollution – «Викиди в повітря», Water_pollution – «Стічні води», Solid_pollution – «Тверді відходи», Noise – «Шум», Vibration – «Вібрація», Heat_emissions – «Теплові викиди», Ionizing radiation – «Іонізуюче випромінювання», Territory – «Територія», Hydro – «Гідрографічні об'єкти», Recreation_teritori – «Рекреаційні території», Building – «Забудова», Urban_blocks – «Міські квартали». Перелік таблиць наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Перелік створених таблиць

Назва таблиці	Опис
Road_parametr	Параметри дороги
Road	Автомобільні дороги
Railway	Залізниця
Landfill	Сміттєзвалище
Industrial_objects_of_pollution	Промислові об'єкти забруднення
Air_pollution	Забруднення повітря
Water_pollution	Забруднення води
Solid_pollution	Тверді відходи
Noise	Шум
Vibration	Вібрація
Heat_emissions	Теплові викиди
Ionizing radiation	Іонізуюче випромінювання
Hydro	Гідрографічні об'єкти
Recreation_teritory	Рекреаційні території

Таблиця 2.2

Структура таблиці шару Road - дороги

Назва поля	Тип даних	Кількість символів	Статус	Опис
Id_road	числовий	4	Обов'язковий	ІД ділянки дороги
Fare truck	числовий	1	Необов'язковий	Проїзд вантажного транспорту
Long	числовий	3	Необов'язковий	Довжина відрізка дороги

Таблиця 2.3

Структура таблиці шару Railway - залізниця

Назва поля	Тип даних	Кількість символів	Статус	Опис
Id_rail	числовий	4	Обов'язковий	ID ділянки залізної дороги
Type	числовий	1	Необов'язковий	Тип залізничного перегону
Traffic	числовий	1	Необов'язковий	Завантаженість залізничного перегону
Long	числовий	5	Необов'язковий	Довжина перегону

Таблиця 2.4

Структура таблиці шару Landfill - сміттєзвалище

Назва поля	Тип даних	Кількість символів	Статус	Опис
Id_landfill	числовий	4	Обов'язковий	ID сміттєзвалища
Area	числовий	6	Необов'язковий	Площа сміттєзвалища
Type	числовий	1	Необов'язковий	Тип сміттєзвалища
Capacity	числовий	6	Необов'язковий	Об'єм відходів

Таблиця 2.5

Структура таблиці шару Industrial_objects_of_pollution - промислові об'єкти забруднення

Назва поля	Тип даних	Кількість символів	Статус	Опис
Id_object	числовий	4	Обов'язковий	ID об'єкта
Type	числовий	1	Необов'язковий	Тип об'єкта промисловості
Capacity	числовий	6	Необов'язковий	Площа об'єкта забруднення
VN	текстовий	15	Необов'язковий	Власна назва

Таблиця 2.6

Структура таблиці шару Air_pollution - викиди в повітря

Назва поля	Тип даних	Кількість символів	Статус	Опис
Id_factor	числовий	4	Обов'язковий	ID фактора забруднення
Capacity	числовий	6	Необов'язковий	Кількість викидів
Type	числовий	2	Необов'язковий	Тип викидів

Таблиця 2.7

Структура таблиці шару Water_pollution - стічні води

Назва поля	Тип даних	Кількість символів	Статус	Опис
Id_factor	числовий	4	Обов'язковий	ID фактора забруднення
Capacity	числовий	6	Необов'язковий	Кількість продукуваних стічних вод
Type	числовий	2	Необов'язковий	Тип стічних вод

Таблиця 2.8

Структура таблиці шару Solid_pollution - тверді відходи

Назва поля	Тип даних	Кількість символів	Статус	Опис
Id_factor	числовий	4	Обов'язковий	ID фактора забруднення
Capacity	числовий	6	Необов'язковий	Кількість продукуваних твердих відходів
Type	числовий	2	Необов'язковий	Тип стічних вод

Таблиця 2.9

Структура таблиці шару Noise - шум

Назва поля	Тип даних	Кількість символів	Статус	Опис
Id_factor	числовий	4	Обов'язковий	ID фактора забруднення
Quantity	числовий	6	Необов'язковий	Кількісний показник забруднення

Таблиця 2.10

Структура таблиці шару Vibration- вібрація

Назва поля	Тип даних	Кількість символів	Статус	Опис
Id_factor	числовий	4	Обов'язковий	ID фактора забруднення
Quantity	числовий	6	Необов'язковий	Кількісний показник забруднення

Таблиця 2.11

Структура таблиці шару Heat_emissions - теплові викиди

Назва поля	Тип даних	Кількість символів	Статус	Опис
Id_factor	числовий	4	Обов'язковий	ID фактора забруднення
Quantity	числовий	6	Необов'язковий	Кількісний показник забруднення

Таблиця 2.12

Структура таблиці шару Ionizing radiation -іонізуюче випромінювання

Назва поля	Тип даних	Кількість символів	Статус	Опис
Id_factor	числовий	4	Обов'язковий	ID фактора забруднення
Quantity	числовий	6	Необов'язковий	Кількісний показник забруднення

Таблиця 2.13

Структура таблиці шару Hydro - гідрографія

Назва поля	Тип даних	Кількість символів	Статус	Опис
Id_hydro	числовий	4	Обов'язковий	ID об'єкта гідрографії
VN	текстовий	15	Необов'язковий	Власна назва об'єкта
Type	числовий	1	Необов'язковий	Тип об'єкта гідрографії

Таблиця 2.14

Структура таблиці шару Recreation_teritori - рекреаційні території

Назва поля	Тип даних	Кількість символів	Статус	Опис
Id_rec_ter	числовий	4	Обов'язковий	ID рекреаційного об'єкта
Type	числовий	1	Необов'язковий	Тип рекреаційного об'єкта
Rec_potenc	числовий	1	Необов'язковий	Потенціал рекреаційного об'єкта

Таблиця 2.15

Структура таблиці шару Building - забудова

Назва поля	Тип даних	Кількість символів	Статус	Опис
Id_build	числовий	4	Обов'язковий	ID будівлі
Floor_number	числовий	2	Необов'язковий	Кількість поверхів
People_number	числовий	3	Необов'язковий	Кількість жителів
Type	числовий	1	Необов'язковий	Тип будівлі

Таблиця 2.16

Структура таблиці шару Urban_blocks - міські квартали

Назва поля	Тип даних	Кількість символів	Статус	Опис
------------	-----------	--------------------	--------	------

Id_block	числовий	4	Обов'язковий	ID кварталу
Urbanize	числовий	1	Необов'язковий	Степінь забудови
Use	числовий	1	Необов'язковий	Використання

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ МЕТОДІВ ГЕОПРОСТОРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА

3.1 Розроблення цифрової карти міста Києва

Для проведення аналізу та моделювання, необхідна електронна картографічна основа, на основі картографічної та семантичної інформації буде розроблена модель. Для території міста Києва було створено дану карту. На рис. 3.1 зображено електронну карту м Київ у масштабі 1:250 000. Карта створена в системі QGIS Desktop 3.40.11. Зображено тільки ті об'єкти, які необхідні для проведення аналізу. Створено наступні шари: settlement – територія міста, road – автошляхи, railway – залізниця, hydro – гідрографічні об'єкти, urban_block – міські квартали, recreation_teritory – рекреаційні території, industrial_obj – промислові об'єкти, landfill – сміттєзвалища.

Отже в результаті отримано наступну інформацію по створеним таблицям.

Таблиця 3.1
Інформація по таблиці settlement

Таблиця	settlement
Площа	839 км ²

Таблиця 3.2
Інформація по таблиці road

Таблиця	road
Загальна довжина доріг	1630 км
З них магістральних	340,9 км

Таблиця 3.3

Інформація по таблиці railway

Таблиця	railway
Загальна довжина полотна	69,6 км

Таблиця 3.4

Інформація по таблиці hydro

Таблиця	hydro
Загальна довжина річок	165 км
Загальна площа ставків та озер	60 км ²

Таблиця 3.5

Інформація по таблиці urban_block

Таблиця	urban_block
Загальна кількість кварталів	836 км ²
Жилих	437 км ²

Таблиця 3.6

Інформація по таблиці recreation_teritory

Таблиця	recreation_teritory
Кількість рекреаційних об'єктів	127
Загальна площа	80,46 км ²

Таблиця 3.7

Інформація по таблиці landfill

Таблиця	landfill
Кількість сміттєзвалищ	2
Стихійних	15

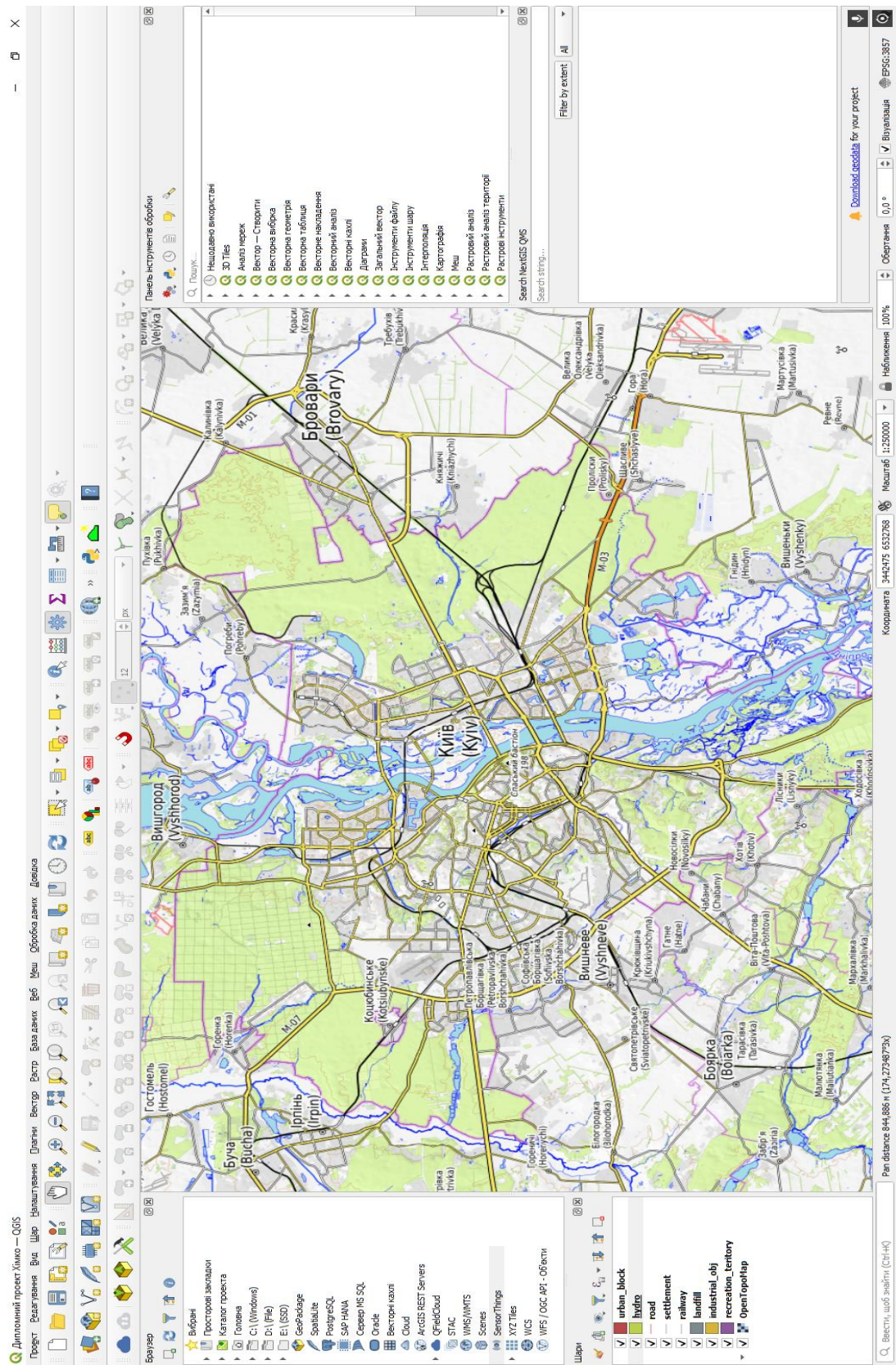


Рис 3.1 Базовий набір картографічних даних

Таблиця 3.8

Інформація по таблиці industrial_obj

Таблиця	industrial_obj
Кількість промислових об'єктів	1140
Кількість СГ об'єктів	30-50
Загальна площа СГ об'єктів	33 км ²
Кількість заводів	260
Загальна площа заводів об'єктів	55 км ²
Площа кар'єру	0,4 км ²

3.2 Геоінформаційна модель впливу транспортної системи на екологію міста

Вплив транспортної системи на екологію міста полягає в шумовому забрудненні та продукуванні шкідливих викидів у повітря. Причому головну роль тут відіграє саме шумове забруднення. Воно утворюється від залізничного та автомобільного транспорту. Норми шуму відповідно до [Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів (ДСП № 173-96), затверджених наказом МОЗ України від 19.06.1996 № 173] в містах становлять 55 децибел вдень, та 45 децибел вночі.

В дипломній роботі розглянуто наступний підхід до моделювання забруднення територій від автотранспорту та залізниці. Всі дороги поділені на 3 групи, як показано в таблиці 3.1. Відповідно забруднення буде більшим на дорогах де значення атрибуту «завантаженість» буде дорівнювати 3, і найменше забруднення буде на дорогах зі значенням цього атрибуту

Також вагому роль відіграє вантажний транспорт. Такі автомобілі мають великий об'єм двигуна, відповідно продукують більшу кількість викидів відносно легкових автомобілів. За цей параметр відповідає атрибут «поїзд вантажного транспорту». Значення буде дорівнювати 1 коли на відрізку дороги дозволений проїзд вантажівок, і дорівнювати 0 коли такий проїзд заборонено.

Таблиця 3.9

Поділ доріг на категорій

Кількість машин, авт/год	Категорія завантаженості
>2000	3
>1000	2
>500	1

Тепер необхідно визначити межу буферної зони для кожного типу проїзду, де значення шуму будуть набувати 55 децибел, рис 3.2. Експериментальним чином були встановлені наступні значення для міського середовища, таблиця 3.2 (слід зазначити що швидкість руху автомобілів також впливає на рівень шуму, в дипломній роботі береться середнє значення швидкості руху в 50 км/год).

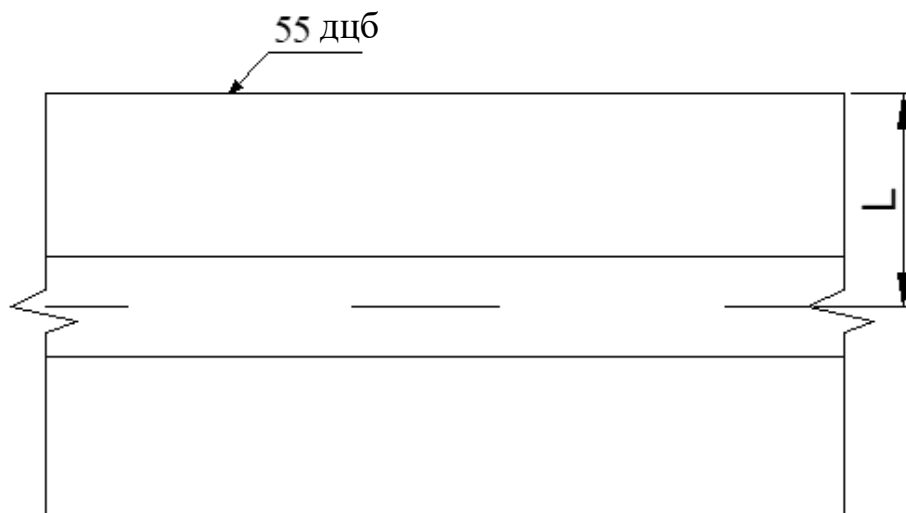


Рис. 3.2 Розмір буферної зони

Значення відраховується від осьової лінії дороги, та до точки, де значення рівня шуму досягне значення в 55 децибел.

Таблиця 3.10

Ширина буферної зони в залежності від типу дороги

№	Категорія завантаженість	Проїзд вантажного транспорту	Ширина буферної зони, L (м)
1	3	так	150
2	3	ні	120
3	2	так	100
4	2	ні	80
5	1	так	50

Маючи всі вихідні данні можна почати створення моделі. Перш за все необхідно вибрати всі дороги які відповідають пункту 1. Це можна зробити виконавши наступний SQL запит (рис.3.3).

SQL-Запрос

Выбрать колонки: *

из таблиц: road

с условием: fare_truck=1 And zavantazh = 3

Рис. 3.3 SQL запит вибору типу дороги

Результат , який видає програма показано на рис. 3.4. В результаті є 10 проїздів, які відповідають заданим критеріям. Наступний крок це побудова буферу відповідного розміру. На рис. 3.5 зображений фрагмент карти з центральною частиною міста, на якому показано результати по першому пункту з таблиці 3.9. Буфер зображено окремим шаром, для наочності він показаний прозорим. За даним алгоритмом виконується послідовно ще 4 пункти з таблиці 3.9, змінюватимуться лише параметри в SQL запиті, та ширина буферної зони.

	Id	fare_truck	long	zavantazh
■	12	1	6,82	3
■	24	1	5,47	3
■	31	1	4,15	3
■	45	1	8,23	3
■	57	1	3,94	3
■	68	1	7,56	3
■	79	1	5,12	3
■	84	1	2,88	3
■	96	1	4,73	3
■	108	1	6,35	3

Рис 3.4 Вибірка сегментів дороги відповідно необхідних значень

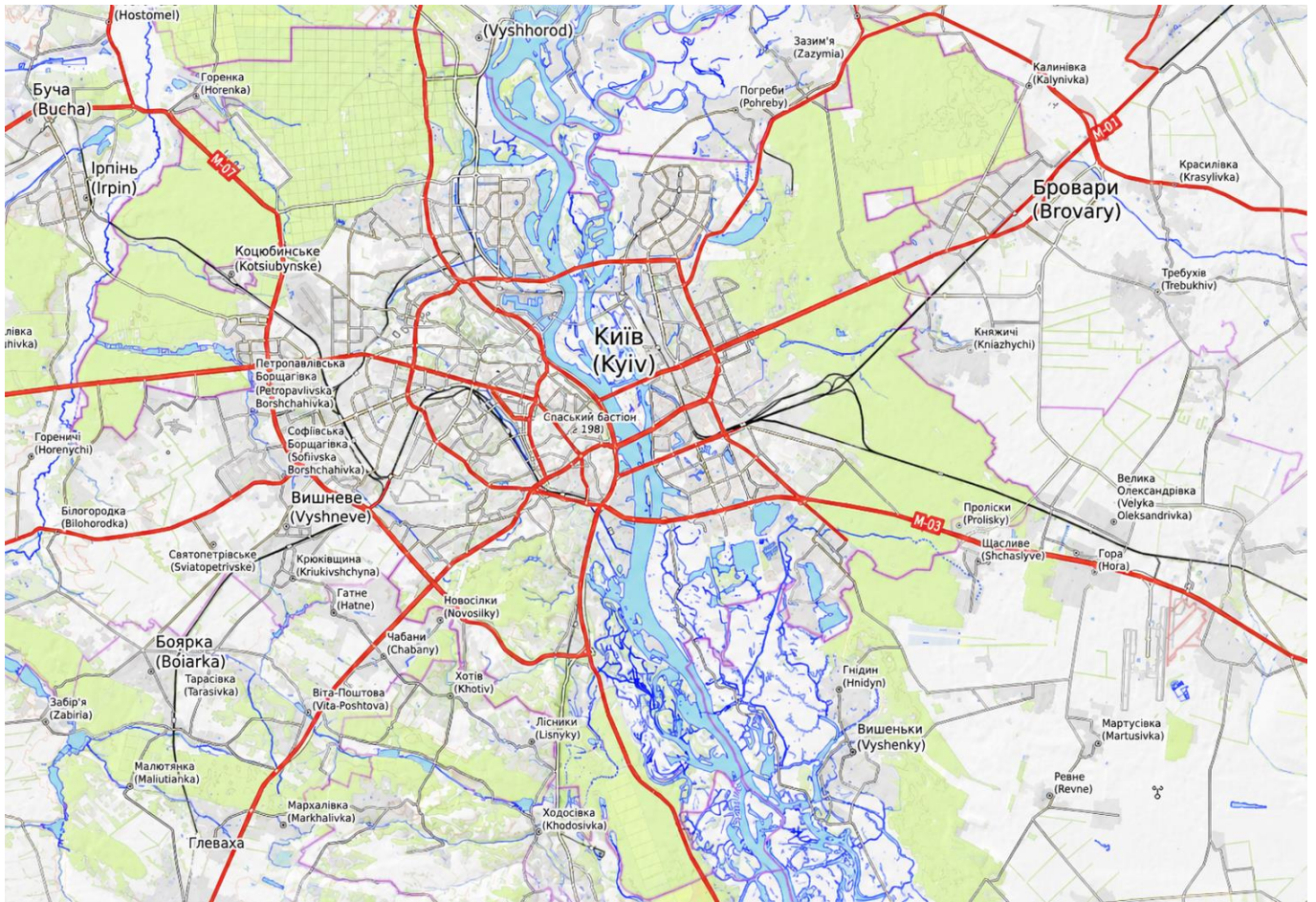


Рис. 3.5 Забруднення від найбільших магістралей

Результатом роботи по автошляхам є поєднання буферів усіх доріг, та їх подальший аналіз. На рис 3.6 зображено загальну картину впливу автомобілів на міське середовище (центральна частина міста). Ще одним видом транспорту є залізничний транспорт. Через місто Київ пролягає електрифікована лінія руху поїздів, де рівні звукового тиску досягають 100-110 дБ, згідно з класифікацією

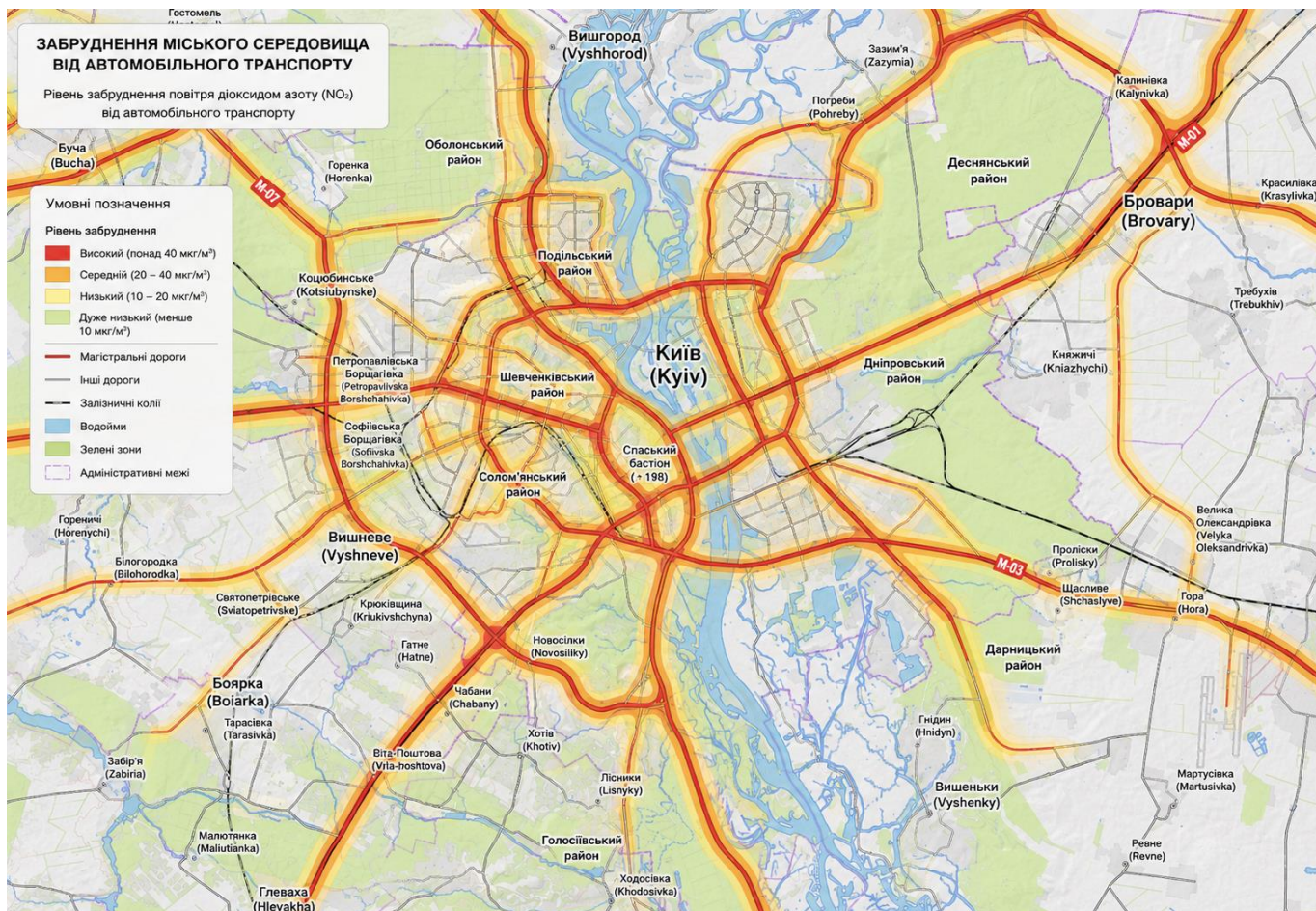


Рис. 3.6 Забруднення міського середовища від автомобільного транспорту

Я. Миколоша, Л. Пітермана (1983), виділяють чотири зони акустичного дискомфорту: сприятливий – понад 400м, достатньо сприятливий 300–400м, малосприятливий – 100 – 300 м, несприятливий – до 100 м. Для проведення моделювання обрано крайню межу малосприятливої зони, тобто 300 метрів. Далі будувється буферна зона з такою шириною. На рис 3.7 зображено результати .



Рис. 3.7 Буферна зона навколо залізниці

3.3 Геоінформаційна модель впливу промислових об'єктів на навколишнє середовище

Об'єкт дослідження має 6 основних промислових об'єктів. Це заводи, СГ об'єкти, та гірничодобувний комбінат. В даному розділі буде розглянуто комплексний вплив об'єкту промисловості на територію, буде оцінюватись сукупність факторів забруднення і ступінь дії цих факторів для кожного типу об'єктів промисловості. В даній роботі пропонується визначити ступінь забруднення в умовних значеннях, відповідно до віддаленості від джерела забруднення а також від характеру самого джерела. В таблиці 3.13 показані максимальні умовні значення забруднення для об'єктів промисловості.

Таблиця 3.13
Визначення умовних значень забруднення
територій

Тип промислового об'єкту	Максимальне значення
Кар'єр	25
Завод	20
Ферма	15

Також розглянуто зони впливу, з віддаленням від джерела ступінь забруднення буде зменшуватись, пропонуються наступні розміри зон впливу та значення забруднення для кожної з них. В таблиці 3.13 показані ці значення. Наприклад 50 метрів буде ширина зони для кар'єру, де значення забруднення буде набувати умовне значення в 20 одиниць. Перша зона, де значення ширина дорівнює 0 означає територію самого промислового об'єкту, там значення забруднення буде сягати максимальних значень. Щоб знайти територію, яка підлягає забрудненню необхідно для кожного об'єкта побудувати буфер з відповідною шириною. В програмному середовищі було побудовано відповідних розмірів буфери, кожна зона побудована в окремому шарі. На рис 3.10 зображено результат робіт.

За допомогою просторових можливостей ГІС – системи можна розрахувати площу яку займає кожна зона. Для цього таблиці з зонами містять поле «area», в яке за допомогою функції обрахунку площ, можна вписати площу зон. Для визначення суми цих зон використано SQL запитом з оператором «area». Результати подані у таблиці 3.14, де кожній категорії забруднення відповідає площа території, яку вона займає.

Таблиця 3.14

Визначення умовних значень умовних значень негативного впливу промислових об'єктів на середовище

Тип промислового об'єкту	Ширина зони (м)	Умовне значення забруднення
Кар'єр	0	25
	50	20
	150	15
	200	10
	500	5
Завод	0	20
	50	15
	150	10
	200	5
Ферма	0	15
	50	12
	150	8
	200	3

Таблиця 3.15

Площа зон забруднення

Категорія зони забруднення	Загальна площа територій (км ²)
1	3.80549
2	6.89419
3	8.08121
4	3.04987

Для більшого наочного зображення просторового розподілу забруднення створено 3D модель, на основі виконаного моделювання (рис. 3.9). Роль осі Z в конкретному випадку буде відігравати умовне значення забруднення, а значення X

та Y отримуються з розробленої картографічної основи. Для побудови поверхні використовується програмне забезпечення Surfer 10. На рис. 3.9

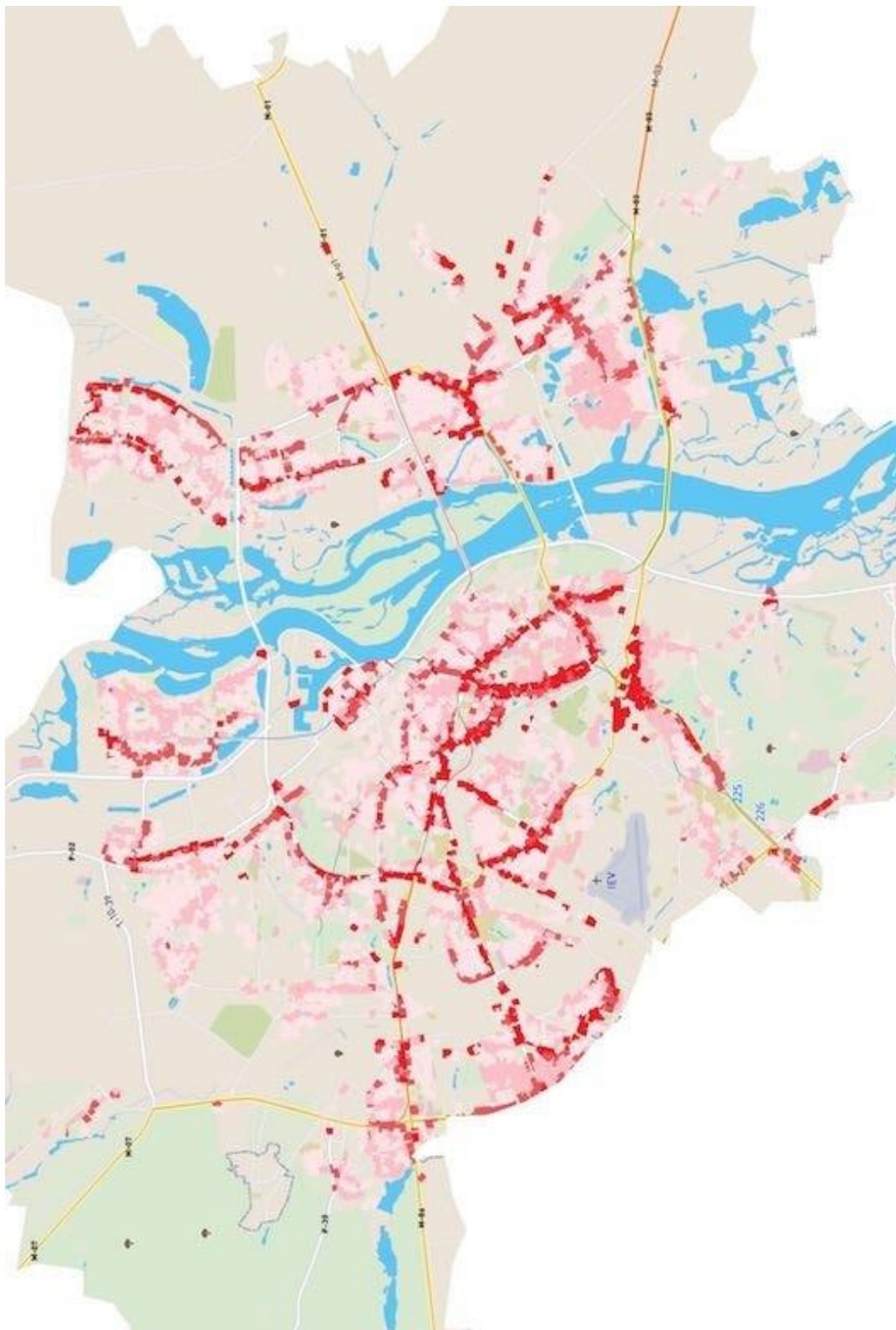


Рис. 3.8 Шумове забруднення м. Києва.

(За матеріалами каналу Delo.ua)

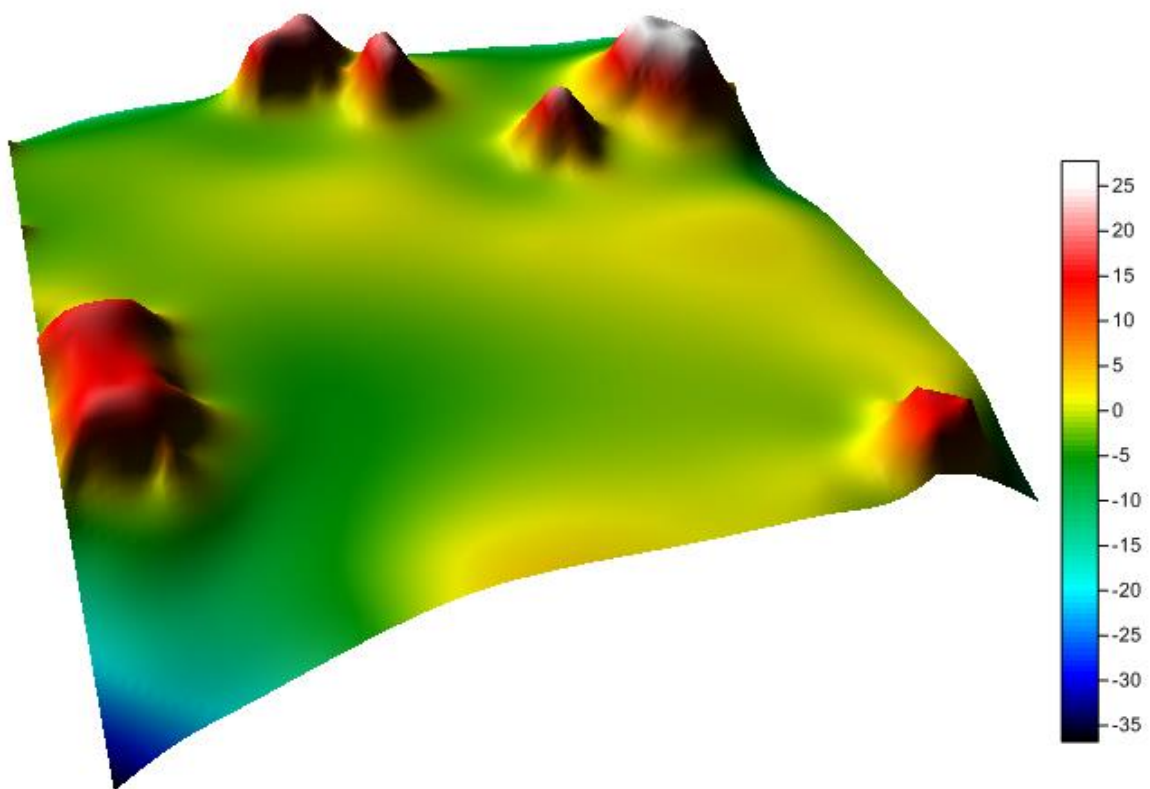


Рис. 3.9 3D модель забруднення від промислових об'єктів

На 3D моделі (рис. 3.9) показаний просторовий розподіл тих шкідливих факторів, що продукуються в ході промислового виробництва: забруднення атмосфери, шум та вібрації, а у випадку гірничодобувного комбінату це підвищений радіаційний фон. Найбільше значення забруднення визначено у кар'єра, далі ідуть заводи та фабрики, на останньому місці СГ підприємства.

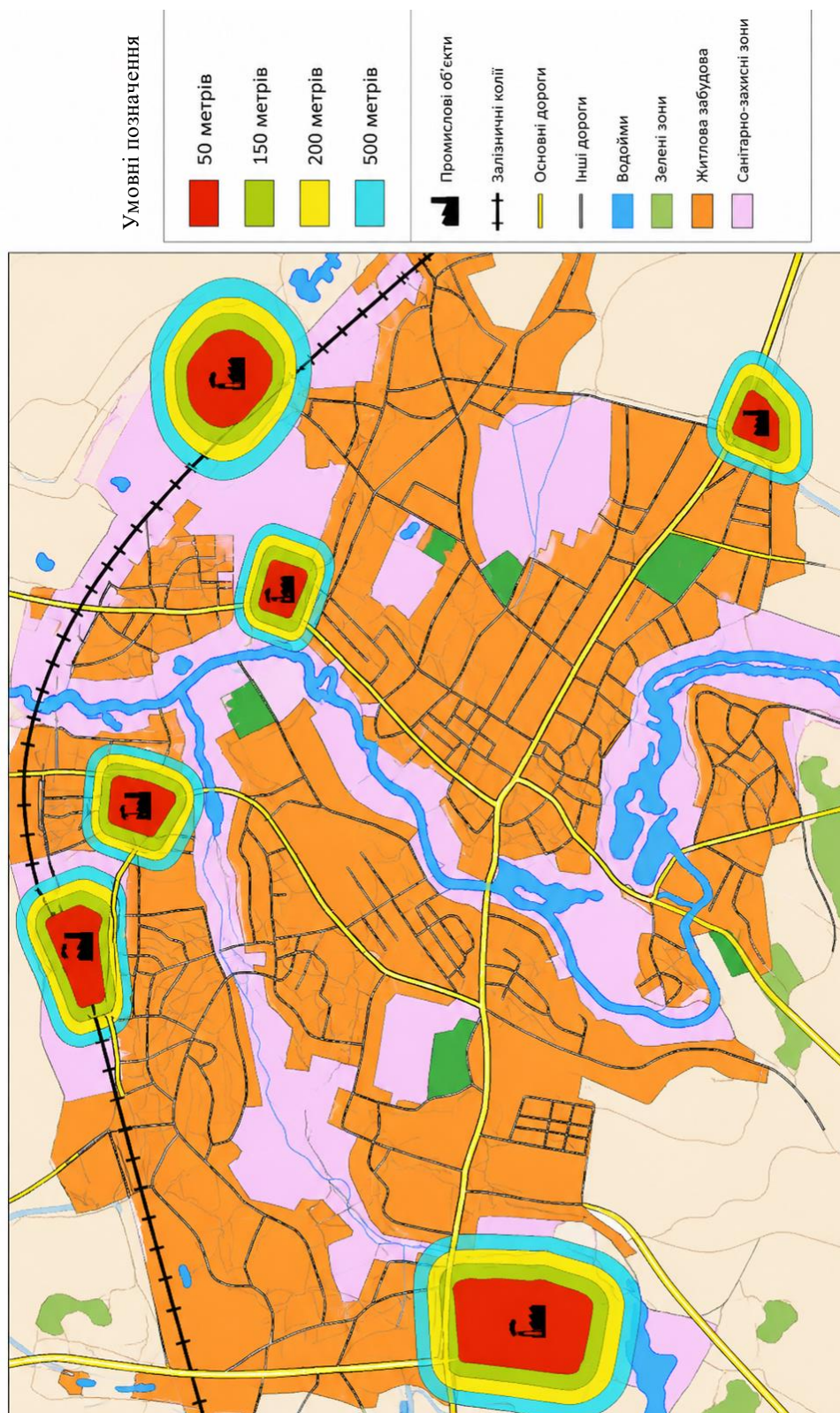


Рис. 3.10 Зони забруднення від промислових об'єктів
(Матеріал розроблено автором у застосунку MapInfo)

Поверхня побудована на основі інтерполяції методом «мінімальної кривизни». Вагомим недоліком побудови поверхонь в програмному забезпеченні Surfer 10 є те що таку поверхню неможливо перенести в ГІС – середовище, оскільки Surfer працює тільки з координатами, в програмі немає такого поняття як системи географічних координат, тобто по такій поверхні неможливо робити подальший просторовий аналіз. А отже єдине можливе використання для такої моделі це наочна демонстрація інформації про забруднення від промислових об'єктів.

3.4 Геоінформаційна модель екологічної привабливості міського середовища

Для розроблення даної моделі необхідно вибрати 2 типи об'єктів, таблиця 3.16

Таблиця 3.16

Об'єкти, що впливають на модель

Позитивні	Природні об'єкти гідрографії
	Рекреаційні об'єкти
Негативні	Промислові об'єкти
	Сміттєзвалища
	Транспортні системи

В результаті моделювання буде отримано поверхню екологічної привабливості території, яку можна використовувати в різних сферах діяльності. Для того щоб отримати таку поверхню було розроблено наступний алгоритм. Кожному об'єкту призначається своє поле впливу, з приближенням до центру такого об'єкту посилюється і вплив поля. Значення такого поля, в центрі об'єкта, що є забрудни ком середовища буде 20. В той час коли значення в центрі об'єкта, що має позитивний вплив на середовище буде – 20. З віддаленням від центру значення будуть відповідно зменшуватись або збільшуватись до 0 . В тих місцях де поля

перетинаються, значення полів в даному місці додаються. Результатом буде хмара точок, з відповідними значеннями, які будуть використовуватись при створенні поверхні.

В ході виконання бакалаврської кваліфікаційної дипломної роботи на території міста було розставлено 1751 точкових об'єктів. Кожний з них має атрибут Z, в ньому містяться значення привабливості території, такої кількості достатньо для того щоб результат моделювання був коректним. Створення моделі відбуватиметься в програмному забезпеченні QGIS Desktop 3.40.11 з додатком Vertical mapper. Сам додаток створює поверхню з набору точок, при створенні такої поверхні можна детально призначити параметри, які будуть в поверхні, такі як тип інтерполяції, крок сітки, та спосіб візуалізації. Окрім створення поверхні, Vertical mapper може виконувати аналізувати її, знаходження мінімумів та максимумів, створення ізоліній, та багато іншого.

За результатами робіт по отримано наступну модель екологічної привабливості міського середовища м. Києва (рис. 3.12). Поверхня була створена методом інтерполяції «найближчий сусід», саме цей метод інтерполяції, дав найбільш адекватну картину, в порівнянні з іншими методами. Зображена поверхня містить градієнт кольорів від червоного до синього, місця з добрим станом екології відображаються від'ємними значеннями, і мають колір від блакитного до синього, місця з поганим станом екології відображаються додатними значеннями та мають колір від яскраво червоного до оранжевого.

За допомогою такої моделі можна робити висновки відносно стану екології міського середовища, можливо визначити квартали, які зазнають найбільшого техногенного впливу. Для більшої наглядності можливе створення трьохвимірною відображення моделі екологічного забруднення (рис. 3.11). Зображення досить наглядно характеризує розподіл шкідливих факторів на території міста. Даний підхід є інтуїтивно зрозумілим для переважної більшості людей без спеціальної освіти.

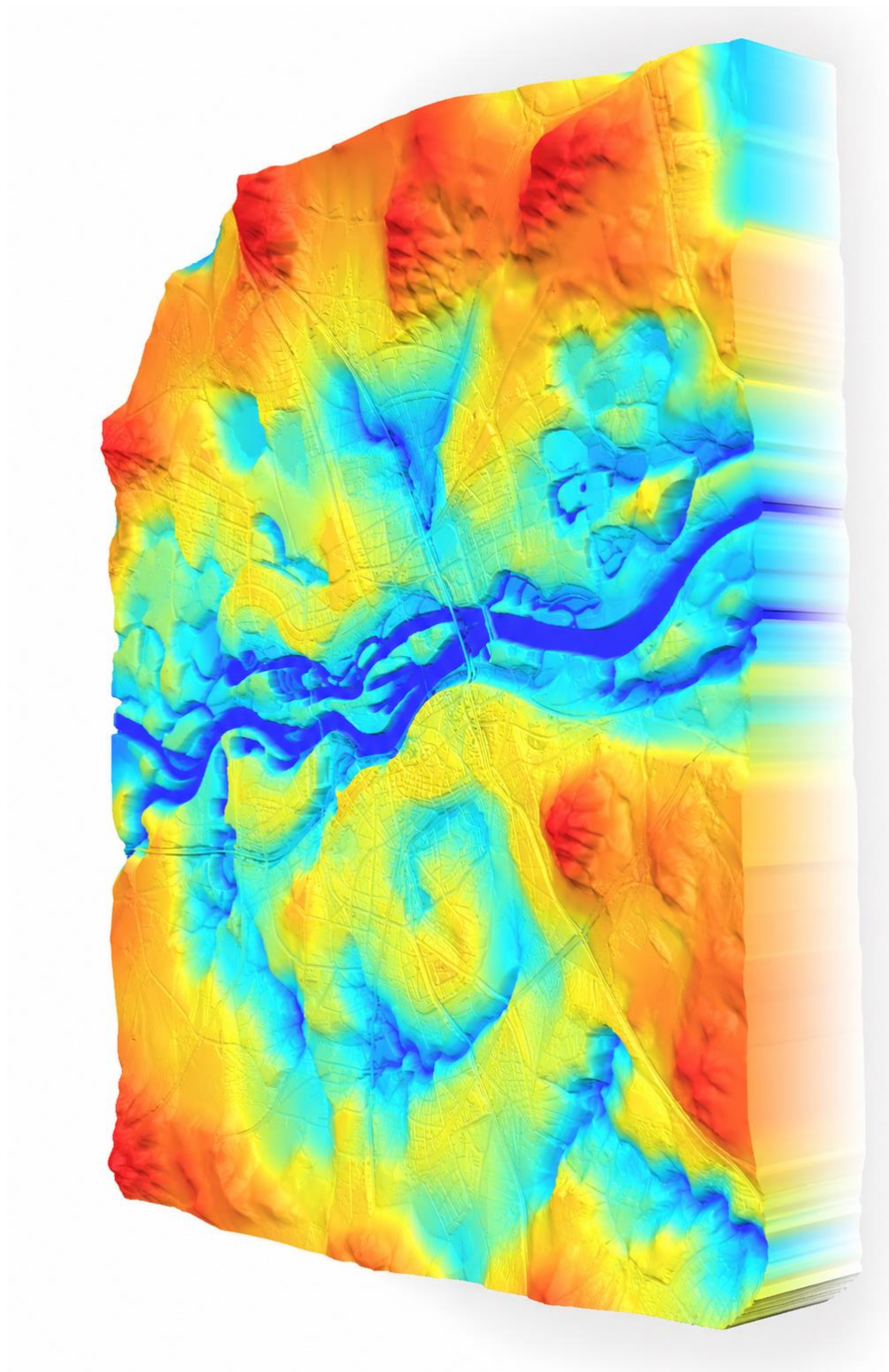


Рис. 3.11 3D зображення екологічної привабливості територій

(Модель побудована у застосунку Qgis, накладанням растру на базові висоти SRTM у модулі qgis2treejs)

Екологічна привабливість міського середовища м. Києва

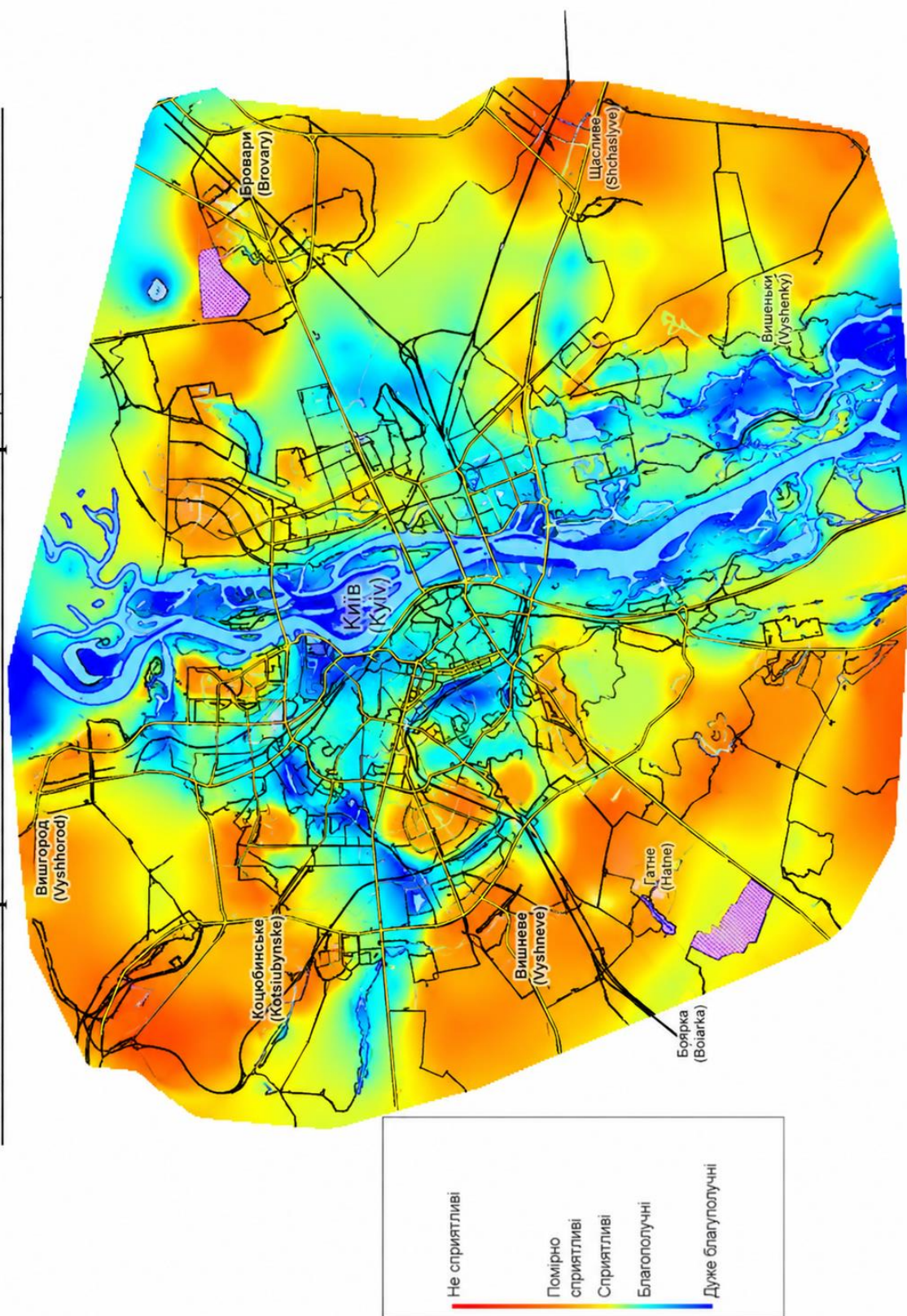


Рис. 3.12 Екологічна привабливість міського середовища міста Києва

Зеленим кольором позначені екологічно сприятливі території, червоним кольором менш сприятливі території. Такий аналіз можна використовувати при визначенні коефіцієнтів, які впливають на вартість земельної ділянки при оцінці землі. Результат однозначний, та інтуїтивно зрозумілий, навіть для людей без спеціалізованої освіти, а значить придатний для широкого про шарку населення. Таким чином досягається основна мета дипломної роботи, поширення інформованості серед населення, щодо екологічного стану територій проживання.

Висновок

1. У межах виконання бакалаврського кваліфікаційного дипломного проєкту проведено дослідження екологічного стану міського середовища м. Києва як складної системи, що формується під впливом природних і антропогенних факторів. Аналіз показав, що ключовими джерелами впливу на стан довкілля є транспортна мережа, промислові підприємства, рівень урбанізації та забезпеченість територій зеленими насадженнями. Виявлено основні чинники, які визначають якість міського середовища та безпосередньо впливають на комфортність проживання населення. Отримані результати засвідчили доцільність використання геоінформаційних технологій для здійснення комплексної оцінки, аналізу та моніторингу екологічного стану столиці.
2. В процесі дослідження створено структурну та інформаційно-логічну модель геопросторової бази даних, призначеної для зберігання та опрацювання екологічної інформації про міське середовище. Розроблена база даних забезпечує ефективне накопичення, упорядкування та аналіз просторових даних щодо стану довкілля. До її складу включено тематичні шари, що відображають транспортну інфраструктуру, промислові об'єкти, житлову забудову, зелені зони та інші елементи міського простору. Сформована геопросторова база даних є надійною основою для проведення екологічних досліджень, підтримки моніторингу навколишнього середовища та подальшого вдосконалення геоінформаційних систем.
3. В бакалаврській кваліфікаційній дипломній роботі розроблено та застосовано комплекс методів геопросторового моделювання екологічного стану міського середовища м. Києва. Проведено аналіз впливу транспортної системи на довкілля та визначено території з найбільшим рівнем шумового навантаження. Також виконано

моделювання впливу промислових об'єктів, у результаті чого окреслено зони їхнього потенційного негативного впливу на навколишнє середовище. На основі сукупності екологічних показників побудовано модель екологічної привабливості територій, яка дозволяє визначати райони з різним рівнем комфортності для проживання населення. Запропоновані моделі забезпечують можливість оперативного оцінювання екологічної ситуації, прогнозування її змін та підтримки процесу прийняття управлінських рішень. Результати роботи можуть бути використані для планування природоохоронних заходів, удосконалення транспортної інфраструктури, контролю впливу промислових підприємств і реалізації принципів сталого розвитку міста. Поставлена мета дослідження досягнута, а всі визначені завдання виконані в повному обсязі. Отримані результати підтверджують ефективність застосування геоінформаційних технологій для комплексного вивчення екологічного стану м. Києва та підвищення рівня екологічної безпеки міського населення.

Список літератури

1. Департамент захисту довкілля та адаптації до зміни клімату КМДА. Інформація про виконання Комплексної міської цільової програми екологічного благополуччя міста Києва на 2022–2025 роки. Київ, 2025. URL: <https://ecodep.kyivcity.gov.ua/kompleksna-miska-tsilova-prohrama-ekolohichnoho-blahopoluchchia-mista-kyieva/informatsiia-pro-vykonannia-prohramy>

(Дата звернення 10.05.25)

2. Департамент захисту довкілля та адаптації до зміни клімату КМДА. Міська система моніторингу якості повітря в Києві відповідає нормам ЄС: результати незалежного аудиту європейських експертів. 2025. URL: <https://ecodep.kyivcity.gov.ua/news/miska-systema-monitorynhu-iakosti-povitria-v-kyievi-vidpovidaie-normam-ies-rezultaty-nezalezhnoho-audytu-ievropeiskyykh-ekspertiv> (Дата звернення 10.05.25)

3. Закону України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення"

4. Департамент захисту довкілля та адаптації до зміни клімату КМДА. Щоденні результати моніторингу якості атмосферного повітря в місті Києві. 2024. URL: <https://asm.kyivcity.gov.ua> (Дата звернення 12.05.25)

5. Київська міська державна адміністрація. У Києві станом на 22 серпня 2024 року рівень забрудненості повітря середній, радіаційний фон у нормі. Київ, 2024.

6. Застосування UML 2.0 та шаблонів проектування. Введення в об'єктно-орієнтований аналіз, проектування та ітеративну розробку/Крег Ларман, видавництво «Вільямс»; 2009. - 381с.

7. Екологія: Навч.метод.посібни/С.І.Дорогунцов,К.Ф.Коценко,О.К.Аблова та ін.— К.:КНЕУ,1999

8. Київська міська державна адміністрація. Дані автоматизованої системи моніторингу якості атмосферного повітря міста Києва. 2024–2026.

9. Карти України URL: <https://geomap.land.kiev.ua/zoning-7.html> (дата звернення 29.03.2026).

10. Екологічний паспорт Київської області URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/Ekologichnyj-pasport-Kyyivska-oblast.pdf> (дата звернення 29.03.2026).

11. Департамент захисту довкілля та адаптації до зміни клімату КМДА. Звіт про результати моніторингу наслідків виконання Комплексної міської цільової програми екологічного благополуччя міста Києва за 2025 рік. Київ, 2026.

12. Радовенчик В., Іваненко О., Крисенко Т., Глушко О. **Розвиток системи моніторингу якості повітря в м. Києві** // Екологія. Людина. Суспільство. 2024. С. 262–267. DOI: 10.20535/EHS2710-3315.2024.303975.

13. Фендюр Р.А. **Дослідження та створення інформаційної системи моніторингу якості повітря м. Київ** : магістерська робота. Київ, 2024. 87 с.

14. Департамент захисту довкілля та адаптації до зміни клімату КМДА. **Звіт за 2024 рік**. Київ, 2025.

15. Департамент захисту довкілля та адаптації до зміни клімату КМДА. **План роботи та звіт діяльності за 2024–2025 роки**.

16. Святошинська РДА м. Києва. **Звіт післяпроектного моніторингу довкілля за 2024 рік**. 2025.

17. Осадчук О., Осадчук Я., Довгун В. **Досягнення та виклики хмарних технологій моніторингу якості повітря** // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2024. №2. С. 18–25.

18. Департамент захисту довкілля та адаптації до зміни клімату КМДА. **Аналітична звітність та статистичні матеріали**. 2024–2025.

19. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. **Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища України у 2024 році**.

20. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища».
21. Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних».
22. Закон України «Про державну систему моніторингу довкілля».
23. Постанова КМУ №827 від 14.08.2019 р. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря.
24. Gangwar A., Singh S., Mishra R., Prakash S. **The State-of-the-Art in Air Pollution Monitoring and Forecasting Systems using IoT, Big Data, and Machine Learning**. 2023.
25. Hu Z., Bai Z., Yang Y. et al. **UAV Aided Aerial-Ground IoT for Air Quality Sensing in Smart City: Architecture, Technologies and Implementation**. 2018.
26. Barik R.K., Dubey H., Samaddar A.B. et al. **FogGIS: Fog Computing for Geospatial Big Data Analytics**. 2017.
27. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (Дата звернення 27.04.25)
28. **Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2024 році** / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Київ, 2025.
29. Бурачек В.Г., Железняк О.О., Молотайло І.М. **Геоінформаційні системи та бази даних : підручник**. Київ : Університет «Україна», 2023. 440 с.
30. Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» від 13.04.2020 № 554-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20> (Дата звернення 24.05.25)