

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально - науковий інститут екології
Кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ М. ХАРКОВА

Виконав: студент 6 курсу, групи ДЕ-64

спеціальності : 101 «Екологія»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Пі автора _____ / Андрій ОГОРОДНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____ / доц. Віталій БЕЗСОННИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____ / проф. Федір НОВІКОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____ / проф. Алла НЕКОС
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____ / Марина ЩОКІНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____ / Світлана БУРЧЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут екології
Кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр
Спеціальність 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ / проф. Алла НЕКОС
підпис ім'я та прізвище

“ 5 ” травня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Андрій ОГОРОДНИК

(прізвище, ім'я)

1. Тема роботи Оцінка екологічного стану ґрунтів м. Харкова
керівник роботи Віталій БЕЗСОННИЙ, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету “ 12 ” листопада 2024 року № 4301-5/3647

:

2. Строк подання студентом роботи _____ 27.11. 2024 р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Провести огляд літератури щодо методів оцінки забруднення ґрунтів важкими металами та встановити нормативні показники для порівняння.

2. Відібрати проби ґрунту в різних частинах міста Харкова з урахуванням відмінностей в антропогенних навантаженнях.
3. Здійснити порівняння отриманих результатів із нормативами гранично допустимих концентрацій (ГДК) важких металів у ґрунтах.
4. Розрахувати індекси забруднення (коефіцієнт концентрації для кожного металу, індекс забруднення ґрунту ІЗГ) та визначити загальний рівень забруднення території.
5. Надати екологічну оцінку стану ґрунтів досліджуваної території та розробити рекомендації щодо зниження негативного впливу антропогенних факторів на ґрунти міста Харкова.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Огляд літературних джерел
2	Пошук та обґрунтування методів оцінки екологічного стану ґрунтів
3	Обробка та аналіз результатів досліджень
4	Формування загальних висновків кваліфікаційної роботи.
5	Формування рекомендацій
6	Оформлення списку літературних джерел

5. Дата видачі завдання 12.06. 2024 р.

Студент

підпис

Андрій ОГОРОДНИК

ім'я, прізвище

Керівник роботи

підпис

доц. Віталій БЕЗСОННИЙ

посада, ім'я, прізвище

АНОТАЦІЯ

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ М. ХАРКОВА

Андрій ОГОРОДНИК

Кваліфікаційна робота «Оцінка екологічного стану ґрунтів м. Харкова» містить 37 сторінок, 4 розділи, 2 таблиці, 3 рисунків, 2 формули, 27 використаних джерела.

Мета роботи. Оцінка екологічного стану ґрунтів у місті Харкові шляхом визначення концентрацій важких металів у різних пробах.

Об'єкт дослідження. Ґрунти міста Харкова, (проби, відібрані з різних територій міста).

Предмет дослідження. Концентрація важких металів у ґрунтах міста Харкова.

Актуальність дослідження. У сучасних умовах інтенсивного урбаністичного розвитку та промислового навантаження на території великих міст, таких як Харків, виникає серйозна загроза забруднення ґрунтів токсичними елементами, зокрема важкими металами, що є серйозною екологічною проблемою, оскільки ці елементи можуть негативно впливати на здоров'я людей та біорізноманіття. Важкі метали мають здатність накопичуватися у ґрунті та переходити в ланцюги живлення, спричиняючи токсичні ефекти на рівні ґрунтових організмів, рослин, тварин і, зрештою, людини.

Завдання дослідження передбачали дослідження екологічного ґрунтів м. Харкова, розрахунок коефіцієнтів концентрації та індексу забруднення ґрунтів.

Методи. Аналіз, синтез, опис, методи математичної статистики, методи відбору проб, визначення концентрації важких металів.

Результати. Проаналізовано концентрації важких металів (цинк, мідь, свинець, кадмій, хром) у досліджених пробах ґрунту Харкова.

ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ҐРУНТІВ, ВАЖКІ МЕТАЛИ, ГРАНИЧНО ДОПУСТИМІ КОНЦЕНТРАЦІЇ, ІНДЕКС ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ

ANNOTATION

EVALUATION OF THE ECOLOGICAL STATE OF SOILS IN KHARKIV

Andrii OHORODNYK

The qualification paper "Evaluation of the Ecological State of Soils in Kharkiv" consists of 37 pages, 4 chapters, 2 tables, 3 figures, 2 formulas, and 27 references.

Purpose of the study. To evaluate the ecological state of soils in the city of Kharkiv by determining the concentrations of heavy metals in various samples.

Object of the study. Soils of the city of Kharkiv (samples collected from various areas of the city).

Subject of the study. Concentrations of heavy metals in the soils of Kharkiv.

Relevance of the study. Under the conditions of intensive urban development and industrial pressures on large cities such as Kharkiv, the threat of soil contamination with toxic elements, including heavy metals, becomes a critical ecological problem. These elements can adversely affect human health and biodiversity. Heavy metals accumulate in the soil and enter the food chains, causing toxic effects on soil organisms, plants, animals, and ultimately, humans.

The tasks of the research. To assess the ecological state of soils in Kharkiv, calculate concentration coefficients, and determine the soil pollution index.

Methods. Analysis, synthesis, descriptive methods, methods of mathematical statistics, sampling techniques, and determination of heavy metal concentrations.

Results. The concentrations of heavy metals (zinc, copper, lead, cadmium, and chromium) in soil samples collected from Kharkiv have been analyzed.

Keywords: Ecological state of soils, heavy metals, maximum permissible concentrations, soil pollution index.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ.....	9
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ	15
2.1. Методики дослідження екологічного стану ґрунтів.....	15
2.2. Розрахунок індексів забруднення ґрунтів.....	16
РОЗДІЛ 3 ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ М.ХАРКОВА.....	18
3.1. Еколого-географічна характеристика м. Харкова	18
3.2. Результати дослідження та аналіз екологічного стану ґрунтів м. Харкова.....	20
3.3. Результати розрахунку індексу забруднення ґрунтів м.Харкова...	24
РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ М. ХАРКОВ.....	29
ВИСНОВКИ.....	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34

ВСТУП

Охорона навколишнього середовища є одним із ключових завдань сучасного суспільства, адже стан екосистем безпосередньо впливає на якість життя людини, збереження біорізноманіття та стійкість природних процесів. Однією із найважливіших складових екосистем є ґрунти, які відіграють ключову роль у забезпеченні екологічної рівноваги, регуляції кругообігу речовин та енергії, а також у функціонуванні агроекосистем і міських територій.

Зростання урбанізації, промислової діяльності та антропогенного навантаження значно впливає на екологічний стан ґрунтів, особливо у великих містах, таких як Харків. Харків є другим за величиною містом України, його територія включає як промислові зони, так і рекреаційні та житлові масиви, що створює складну екологічну ситуацію. У зв'язку з цим виникає необхідність оцінки екологічного стану ґрунтів, які є інтегральним показником рівня техногенного впливу та можуть накопичувати небезпечні забруднювачі, такі як важкі метали.

Актуальність роботи полягає у важливості проведення оцінки забруднення ґрунтів для виявлення потенційних екологічних ризиків, розробки заходів з їхньої мінімізації та підвищення екологічної безпеки міста. У ході дослідження було проведено аналіз проб ґрунтів у різних зонах Харкова, розраховано показники забруднення та виконано комплексну оцінку екологічного стану.

Обрані методи дослідження базуються на сучасних підходах до оцінки стану ґрунтів, включаючи лабораторні аналізи, розрахунок концентрацій забруднювачів, а також статистичні методи для узагальнення отриманих результатів. Отримані дані мають практичне значення для екологічного моніторингу та планування заходів із захисту довкілля на території м. Харкова.

У цьому дослідженні основна увага приділяється забрудненню ґрунтів важкими металами, такими як цинк, мідь, свинець, кадмій та хром, які є найбільш поширеними у міських і промислових зонах. Проведений аналіз дозволив встановити рівень впливу цих елементів на стан ґрунтів та оцінити екологічну ситуацію у місті.

Важкі метали мають здатність накопичуватися у ґрунті та переходити в ланцюги живлення, спричиняючи токсичні ефекти на рівні ґрунтових організмів, рослин, тварин і, зрештою, людини, тому тема дослідження є актуальною.

Мета дослідження – оцінка екологічного стану ґрунтів у місті Харкові шляхом визначення концентрацій важких металів у різних пробах.

Завдання.

1. Відібрати проби ґрунту в різних частинах міста Харкова з урахуванням відмінностей в антропогенних навантаженнях.
2. Здійснити порівняння отриманих результатів із нормативами гранично допустимих концентрацій (ГДК) важких металів у ґрунтах.
3. Розрахувати індекси забруднення (коефіцієнт концентрації для кожного металу, індекс забруднення ґрунту ІЗГ) та визначити загальний рівень забруднення території.
4. Надати екологічну оцінку стану ґрунтів досліджуваної території та розробити рекомендації щодо зниження негативного впливу антропогенних факторів на ґрунти міста Харкова.

Об’єкт дослідження – ґрунти міста Харкова, (проби, відібрані з різних територій міста).

Предмет дослідження – концентрація важких металів у ґрунтах міста Харкова.

Методи дослідження – Аналіз, синтез, опис, методи математичної статистики.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ

Оцінка екологічного стану ґрунтів є одним із ключових напрямів сучасної екології, що має на меті забезпечення сталого використання земельних ресурсів, та є однією з складових екологічного моніторингу, оскільки ґрунти відіграють важливу роль у підтриманні біосферної рівноваги, забезпеченні продовольчої безпеки та захисті водних ресурсів. У контексті міських територій, таких як місто Харків, особливу увагу приділяють впливу антропогенної діяльності на стан ґрунтового покриву, включаючи забруднення важкими металами, нафтопродуктами, хімічними сполуками та іншими поллютантами. У науковій літературі визначено кілька основних підходів до оцінки екологічного стану ґрунтів. Одним із найбільш поширених є аналіз фізико-хімічних показників ґрунтів, включаючи рівень рН, вміст гумусу, катіонно-обмінну здатність та концентрацію забруднюючих речовин.

Дослідження стану ґрунтів в Україні часто фокусується на моніторингу ґрунтової якості та створенні умов для її збереження. Наприклад, розробка Червоної книги ґрунтів України є перспективним інструментом збереження унікальних ґрунтів у регіонах зі значним впливом господарської діяльності [1]. Наукові праці останніх років висвітлюють методики оцінки ґрунтових ресурсів. До них належать фізико-хімічний аналіз ґрунтових зразків, визначення вмісту токсичних речовин, органічного вуглецю та інші показники, що характеризують екологічний стан земель [1]. Аналіз цих параметрів є основою для виявлення деградаційних процесів, таких як засолення, ерозія та забруднення важкими металами. На основі літературних джерел, сучасні методи оцінки включають використання геоінформаційних систем (ГІС) для картування деградаційних процесів та прогнозування змін у стані ґрунтів. Особливий інтерес становлять дослідження щодо змін

гумусного горизонту та накопичення токсичних елементів в урбанізованих зонах.

Методи моніторингу стану ґрунтів значно розвинулися завдяки впровадженню сучасних технологій. Наприклад, використання дистанційного зондування та спектрального аналізу дозволяє оперативно оцінювати рівень забруднення токсичними елементами та вуглеводнями [2]. Авторами досліджено використання технологій дистанційного зондування та близькоспектрального аналізу для виявлення ґрунтових забруднень. Основні переваги цих методів включають можливість масштабного моніторингу та швидкого виявлення контамінацій, таких як токсичні елементи і нафтові вуглеводні. Дослідження також показує, що комбінування спектральних даних із геоінформаційними системами (ГІС) підвищує точність оцінок. Це актуально для Харкова, де можливі великі площі техногенного забруднення.

Крім того, аналіз даних моніторингу з використанням моделей прогнозування антропогенних впливів сприяє підвищенню ефективності заходів із відновлення ґрунтів. Важливо також розглянути локальні підходи до екологічного моніторингу ґрунтів у межах урбанізованих територій. Наприклад, у містах особливу увагу приділяють забрудненню важкими металами та органічними сполуками, що зумовлене промисловою та транспортною діяльністю [3]. Дослідження розглядає роль ґрунтів як індикаторів екологічного стану урбанізованих систем. Описано методи екологічного моніторингу, які базуються на класифікації типів ґрунтів за рівнем забруднення. Особливо цінним є акцент на важких металах і органічних сполуках як основних забруднювачах, що відповідає проблемам індустриальних регіонів. Для ефективного управління даними використовуються геоінформаційні системи, які дозволяють створювати інтерактивні карти забруднення [4]. У статті описується використання ГІС для управління даними про ґрунтове забруднення. Це дозволяє створювати інтерактивні карти, які надають інформацію про просторовий розподіл забруднень і сприяють прийняттю рішень щодо екологічного управління.

Інструмент також використовується для моделювання сценаріїв і планування відновлювальних заходів.

Окрім технологічних рішень, важливим є розуміння екологічного впливу забруднювачів. Наприклад, використання пестицидів у сільському господарстві викликає накопичення нітратів, важких металів та органічних сполук, що впливає на здоров'я екосистем та якість продукції [5]. Стаття аналізує вплив пестицидів на ґрунтову екологію. Методологія включає визначення нітратів, нітритів та важких металів у ґрунтових зразках. Дослідження демонструє, як інтенсивне сільське господарство сприяє накопиченню токсичних речовин, що може бути релевантним для аналізу околиць Харкова, де ведеться активна аграрна діяльність.

На основі сучасних методів моніторингу та аналізу можна розробляти ефективні стратегії для покращення екологічного стану ґрунтів. Наприклад, інтеграція методів дистанційного зондування, аналізу даних великих обсягів та дронів сприяє точній ідентифікації забруднень і розробці заходів для їх усунення [6]. Дослідження зосереджене на інтеграції технологій UAV (дрони), великих даних і дистанційного зондування для оцінки ґрунтових забруднень. Запропоновані підходи включають моделювання та прогнозування забруднень, що дозволяє визначати джерела забруднення і розробляти ефективні заходи з відновлення.

У дослідженні [7] проведено бібліометричний аналіз тенденцій у науці про ґрунти за період 1999–2013 років. Значна увага приділена моніторингу забруднень важкими металами та використанню сучасних технологій, таких як дистанційне зондування. Це дослідження пропонує основи для глобальної екологічної політики та інноваційних підходів до управління ґрунтами.

Дослідження [8] аналізує інтеграцію технологій великих даних і аерофотознімання для моніторингу ґрунтового забруднення. Використовуючи статистичний аналіз і моделювання, автори розробили підходи до управління екологічними ризиками, які є перспективними для широкомасштабного застосування.

Дослідження [9] зосереджується на моніторингу природного капіталу ґрунтів та екосистемних послуг. Автори обговорюють довгострокові програми, що включають екологічні показники і забруднювачі, забезпечуючи основу для управління ґрунтами в міжнародному контексті.

Стаття [10] аналізує забруднення ґрунтів у різних типах землекористування. Результати сприяють підтримці проектів із відновлення чистоти ґрунтів та екологічних ініціатив, забезпечуючи дані для прийняття рішень у регіональних екосистемах.

Використання дистанційного зондування для моніторингу ґрунтових забруднень на великих територіях є головною темою цього дослідження. Автори [11] підкреслюють важливість супутникових даних і спектральних методів для виявлення токсичних елементів. У дослідженні [12] описується технологія розподіленого зондування для аналізу забруднювачів. Метод забезпечує точне оцінювання стану ґрунтів і може бути використаний для вирішення проблем забруднення на місцевому та глобальному рівнях. Дослідження [13] аналізує профілі ґрунтового забруднення з 2000 по 2013 роки, визначаючи основні підходи та тенденції у моніторингу. Акцент зроблено на шість основних напрямів досліджень і журнали, які слугують платформами для обговорення.

Дослідження впливу промислової діяльності на екологічні функції ґрунтів демонструє, що такі фактори, як ущільнення, значно погіршують екосистемні послуги ґрунту. Для оцінки стану ґрунту використовуються біологічні індикатори, що дозволяють виявити негативні наслідки та ефективність рекультивації [14]. Результати аналізу ґрунтів у сільськогосподарських районах свідчать про низьку родючість та кислотність, що вказує на деградацію ґрунтів. Водночас консерваційні методи, зокрема мінімальна обробка ґрунту, сприяють відновленню його екологічного стану [15]. Національний моніторинг здоров'я ґрунтів у Великобританії включає кластерний аналіз показників якості ґрунту, таких як фізико-хімічні

властивості та функціональна класифікація ґрунтів. Виявлено, що управління використанням землі значно впливає на показники здоров'я ґрунтів [16].

Дослідження хімічних властивостей ґрунтів показало вплив важких металів, таких як кадмій і ртуть, на екологічний стан. Незважаючи на помірний рівень екологічного ризику, рекомендовано активізувати заходи з управління вмістом токсичних елементів [17]. Сезонні варіації параметрів ґрунту, таких як рН, провідність, вміст органічної речовини, підкреслюють динамічний характер змін екологічного стану ґрунтів у сільськогосподарських ландшафтах [18]. Аналіз фізичних якостей ґрунтів показав, що багаторівневі агролісівничі системи сприяють відновленню якості ґрунтів на деградованих землях. Методика оцінки структури ґрунтів VESS виявила ефективність такого підходу [19]. Дослідження ґрунтів у районах з різним використанням показало, що управлінські практики, зокрема інтегровані системи рослинництва і тваринництва, значно впливають на фізико-хімічні властивості ґрунтів [20]. Останні роботи підкреслюють необхідність інтегрованих заходів щодо управління ґрунтами для збереження їхньої родючості та забезпечення сталого розвитку. Це включає аналіз змін хімічного складу та використання адаптивних систем управління [21, 22].

Важкі метали, з одного боку, є незамінними природними ресурсами, а з іншого — становлять серйозну екологічну загрозу через їхнє швидке накопичення внаслідок техногенної діяльності. Вони мають високу здатність до зв'язування з органічними речовинами, що може спричиняти їхню інактивацію. Навіть невеликі кількості цих металів здатні викликати важкі захворювання, зокрема онкологічні та імунні розлади, а також уповільнювати ріст і розвиток організмів через порушення метаболізму. У сільському господарстві це призводить до зниження врожайності та погіршення якості продукції. Важкі метали зазвичай потрапляють у харчові ланцюги через рослини, які поглинають їх із забруднених ґрунтів, що актуалізує питання агроекологічного моніторингу, особливо в зонах із високою рослинною складовою раціону. Перевищення навіть природних концентрацій цих

речовин у ґрунті значно ускладнює оцінювання його екологічного стану. Для якісного моніторингу довкілля слід враховувати не лише кількість токсичних елементів, а й їхній вплив на біоценози, наприклад, зміни в структурі мікробних співтовариств, які проявляються вже при низьких рівнях забруднення, не характерних для високих концентрацій [23–27].

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ

2.1. Методики дослідження екологічного стану ґрунтів

Відбір проб ґрунту проводився з урахуванням стандартів, які забезпечують репрезентативність зразків для оцінки екологічного стану ґрунтів. Проби відбиралися на різних ділянках міста Харкова, що мають різний рівень антропогенного навантаження: промислові зони, житлові райони, рекреаційні території та прилеглі до водойм ділянки.

Для кожного місця проводився відбір на глибині 0–20 см, яка є характерною для верхнього шару ґрунту, найбільш вразливого до забруднення. Кожна проба складалася з декількох точкових зразків, об'єднаних в одну об'єднану пробу для підвищення репрезентативності.

Після відбору зразки висушувалися за кімнатної температури, просіювалися через сито з розміром отворів 2 мм для видалення великих часток та рослинних залишків, і зберігалися в герметичних контейнерах до проведення лабораторного аналізу.

Для визначення концентрацій важких металів у ґрунті використовуються високоточні методи лабораторного аналізу, які забезпечують точне кількісне визначення металів навіть у низьких концентраціях.

Атомно-абсорбційна спектрофотометрія (ААС) - це основний метод для визначення концентрацій важких металів, таких як цинк, мідь, свинець, кадмій і хром. ААС є одним із найпоширеніших методів для аналізу важких металів, оскільки забезпечує високу чутливість та точність результатів. Проби ґрунту обробляються кислотним розчином для вилучення металів, які потім вимірювалися за допомогою спектрофотометра, що фіксує поглинання випромінювання на довжинах хвиль, характерних для кожного металу. ААС дозволяє точно визначати низькі концентрації металів, що необхідно для

оцінки екологічного стану ґрунтів і порівняння з гранично допустимими концентраціями (ГДК).

Індуктивно-зв'язана плазмова мас-спектрометрія (ICP-MS) застосовується для перевірки концентрацій деяких металів, оскільки ICP-MS забезпечує надзвичайно високу чутливість і може одночасно визначати декілька елементів у пробі. Проби ґрунту розчинялися, потім отримані розчини вводилися в плазму, де атоми іонізувалися і вимірювалися за допомогою мас-спектрометра. ICP-MS дає можливість проводити багатоконпонентний аналіз, а також виявляти низькі концентрації металів, що робить його корисним для виявлення слідів забруднень у ґрунті.

Порівняння отриманих результатів з нормативними значеннями здійснюється на основі Нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також перелік таких речовин. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2021 р. № 1325. Для кожного металу (цинк, мідь, свинець, кадмій, хром) здійснювалося порівняння з відповідними значеннями ГДК, що дозволяло визначити ступінь забруднення ґрунтів.

2.2. Розрахунок індексів забруднення ґрунтів.

Для оцінки загального рівня забруднення досліджуваної території було розраховано індекси забруднення.

Коефіцієнт концентрації (Кк) було обчислено для кожного металу як відношення середньої концентрації елемента до його ГДК. Це дало змогу оцінити рівень забруднення кожним окремим елементом.

$$K_k = \frac{C_c}{ГДК} \quad (2.1)$$

де C_c – середня концентрація елемента

ГДК – гранично допустима концентрація елемента.

Індекс забруднення ґрунту (ІЗГ) визначався як сума коефіцієнтів концентрації всіх металів. Це дозволило отримати загальну оцінку екологічного стану ґрунтів на території дослідження.

$$\text{ІЗГ} = \sum K_k \quad (2.2)$$

де – K_k – коефіцієнт концентрації елемента.

Для обробки та інтерпретації отриманих результатів використовуються статистичні методи. Обчислення середніх значень, медіан, мінімальних і максимальних значень, а також стандартних відхилень для концентрацій кожного металу. Аналіз дисперсії застосовується для перевірки значущості відмінностей між концентраціями важких металів у різних зонах міста. Аналіз дисперсії дозволяє оцінити, чи є різниця в рівнях забруднення в залежності від територіального розташування проб. Кореляційний аналіз використовується для виявлення взаємозв'язків між концентраціями різних металів. Високий кореляційний зв'язок може вказувати на спільне джерело забруднення, що є важливим для виявлення антропогенних чинників впливу. Тест Шапіро-Уїлка застосовується для перевірки даних на нормальність розподілу, що є важливим для коректного використання інших статистичних тестів.

РОЗДІЛ 3

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТУ М. ХАРКОВА

3.1. Еколого-географічна характеристика м. Харкова

Місто Харків розташоване на північному сході України і є адміністративним центром Харківської області. Географічні координати міста: 49°59' північної широти та 36°13' східної довготи. Харків знаходиться у межах Лівобережно-Дніпровської височини, яка є частиною Придніпровської низовини. Місто перетинають численні малі річки, зокрема Лопань, Уди, Харків та їхні притоки, що формують густу гідрографічну мережу.

Клімат Харкова – помірно континентальний, з чітко вираженими сезонами. Середня річна температура становить +7,4°C, а середньорічна кількість опадів – близько 513 мм. Зими помірно холодні з частими відлигами, літа – теплі, з достатньою кількістю опадів. Кліматичні умови сприяють розвитку різних екосистем, але також впливають на стан міських ґрунтів, особливо у контексті сезонного коливання вологості та температури.

Геологічна будова території Харкова представлена осадовими породами переважно четвертинного віку, серед яких домінують суглинки, лесоподібні суглинки та піски. Ці породи є основою для формування ґрунтів, які характеризуються значною неоднорідністю, обумовленою антропогенним впливом та природними умовами.

Природними типами ґрунтів у межах Харкова є чорноземи опідзолені – характерні для підвищених ділянок і сформувалися в умовах лісостепу. Вони відзначаються високим вмістом гумусу (5–6%) і добрими агрономічними властивостями, однак у міських умовах часто зазнають деградації. Лучно-чорноземні ґрунти – поширені в заплавах річок. Вони мають підвищену родючість, але схильні до підтоплення та насичення солями внаслідок порушення природного гідрорежиму. Сірі лісові ґрунти – займають незначну

площу і трапляються переважно на схилах долин. Окрім природних ґрунтів, значну частину території Харкова займають антропогенно змінені ґрунти, які умовно поділяють на техногенні ґрунти – сформовані на місцях промислових зон, будівельних відходів та звалищ. Вони характеризуються низьким рівнем гумусу та високим рівнем забруднення важкими металами. Урбаноземи – ґрунти, трансформовані під впливом міської забудови, трамбування та внесення штучних матеріалів. Вони відзначаються зміненим профілем та деградованими фізико-хімічними характеристиками. Як один із найбільших промислових центрів України, Харків зазнає значного антропогенного навантаження, яке суттєво впливає на стан ґрунтового покриву. Основні джерела антропогенного впливу включають викиди від підприємств важкої, хімічної та машинобудівної промисловості сприяють накопиченню в ґрунтах важких металів (Pb, Cd, Zn) та токсичних органічних сполук. Автотранспорт є одним із ключових забруднювачів, зокрема через накопичення свинцю, цинку та нафтопродуктів у ґрунтовому покриві. Значна частина міських відходів потрапляє до ґрунтів, забруднюючи їх важкими металами, фенолами та іншими токсичними речовинами. Інтенсивне будівництво супроводжується ущільненням ґрунту, руйнуванням його структури та зміною водно-повітряного режиму. Дослідження свідчать, що найбільші рівні забруднення ґрунтів спостерігаються у промислових районах (Олексіївка, Холодна Гора) та вздовж основних автомагістралей. Тут вміст свинцю та цинку перевищує гранично допустимі концентрації у 3–5 разів.

Екологічний стан ґрунтів міста є незадовільним. Високий рівень урбанізації та недостатня увага до екологічних питань призводять до поступової деградації ґрунтового покриву. Основні проблеми, зафіксовані у межах міста, включають деградацію структури ґрунту. Інтенсивне будівництво сприяє ущільненню ґрунту, що погіршує його водопроникність і повітрообмін. Хімічне забруднення, ґрунти накопичують важкі метали, нафтопродукти та пестициди, що створює ризики для довкілля та здоров'я населення. Зменшення вмісту гумусу, урбанізація призводить до руйнування

верхнього шару ґрунту, що знижує його родючість і стійкість до ерозії. Особливу увагу слід звернути на зелений пояс міста, який виконує функції природного фільтру та бар'єру для забруднення. Однак ці території також перебувають під впливом урбанізації та потребують додаткового моніторингу.

Ґрунтовий покрив міста Харків є одним із ключових елементів екосистеми, який зазнає значного впливу від антропогенної діяльності. Урбанізація, промислові викиди, транспорт і рекреаційне навантаження формують складний комплекс екологічних проблем, які вимагають постійного моніторингу та впровадження природоохоронних заходів. Для покращення екологічного стану ґрунтів необхідно розробити комплексні заходи, спрямовані на зменшення забруднення та відновлення природних властивостей ґрунтів міста.

3.2. Результати дослідження та аналіз екологічного стану ґрунтів м.Харкова

Для визначення екологічного стану ґрунтів м. Харкова було відібрано та проаналізовано проби ґрунту з 6 локацій (рис. 3.1):

Проба 1. 2 км на схід від промислової зони ХТЗ, між кар'єром ХТЗ та с. Затишшя.

Проба 2. 200 м на схід від Аерокосмічного проспекту (орієнтир Аерокосмічний проспект, 187).

Проба 3. Двір житлового дому за адресою вул. Танкопія, 7/1

Проба 4. Паркова (рекреаційна) зона, Саржин Яр, 300 м на схід від купелі.

Проба 5. Сільсько-господарські угіддя, 2 км на захід від с. Логачівка

Проба 6. р. Немишля, 150 м від перехрестя вулиць Немишлянська та Червона Поляна

За результатами проведених досліджень визначено вміст важких металів (цинк, мідь, свинець, кадмій, хром) у ґрунтах (таблиця 3.1)

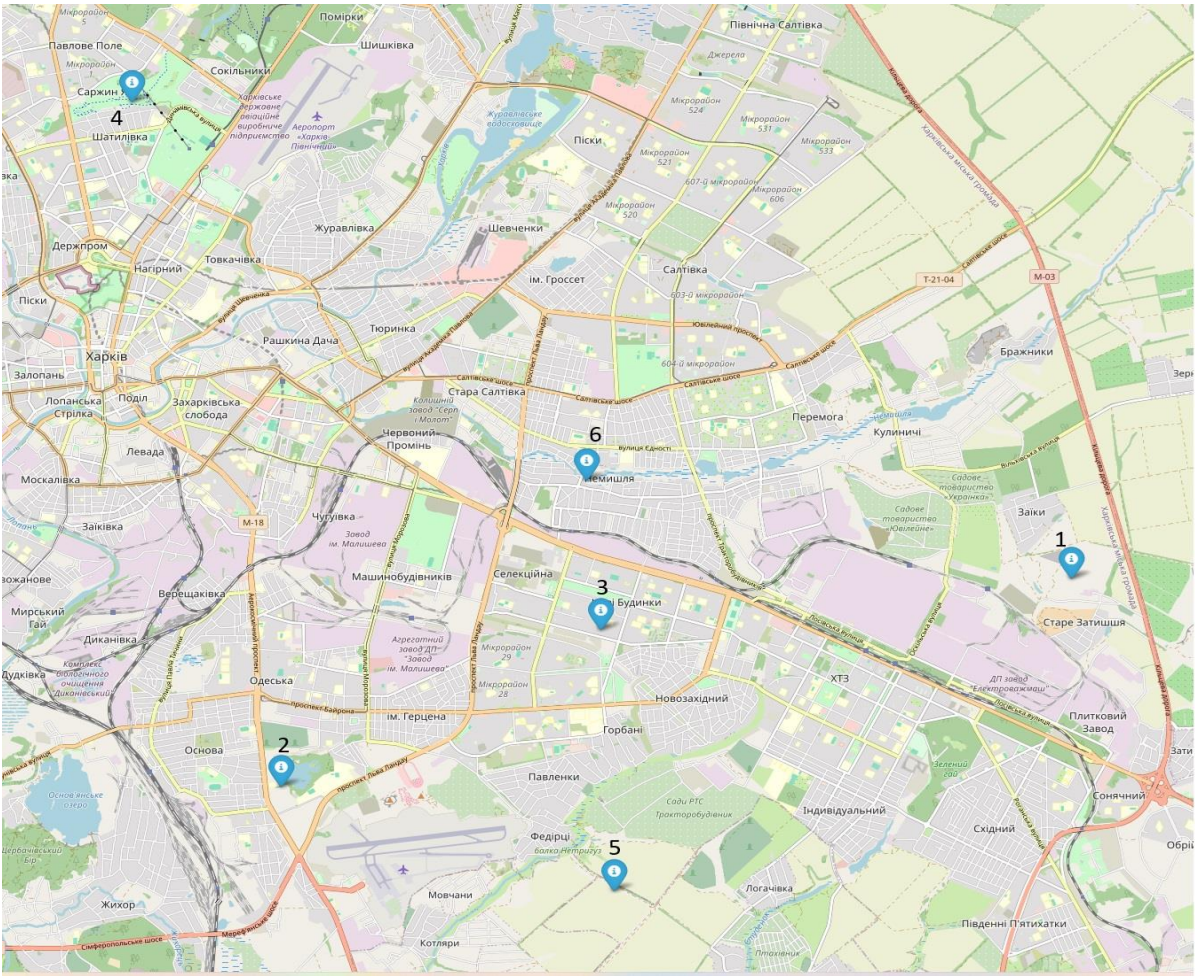


Рис. 3.1 – Карто-схема локацій відбору проб.

Таблиця 3.1

Вміст важких металів за місцями відбору проб

Назва речовини	Цинк, мг/кг	Мідь, мг/кг	Свинець, мг/кг	Кадмій, мг/кг	Хром, мг/кг
Проба 1	0,0448	0,089948	0,0005	0	0,0001
Проба 2	0,0523	0,00348	0,0004	0,0004	0,0001
Проба 3	0,0498	0,00421	0,0002	0,0003	0
Проба 4	0,0495	0,00415	0,0004	0	0
Проба 5	0,0448	0,00413	0,00133	0	0,0001
Проба 6	0,09845	0,00444	0,00172	0	0,0006
ГДК	23	3	6	1,5	0,05

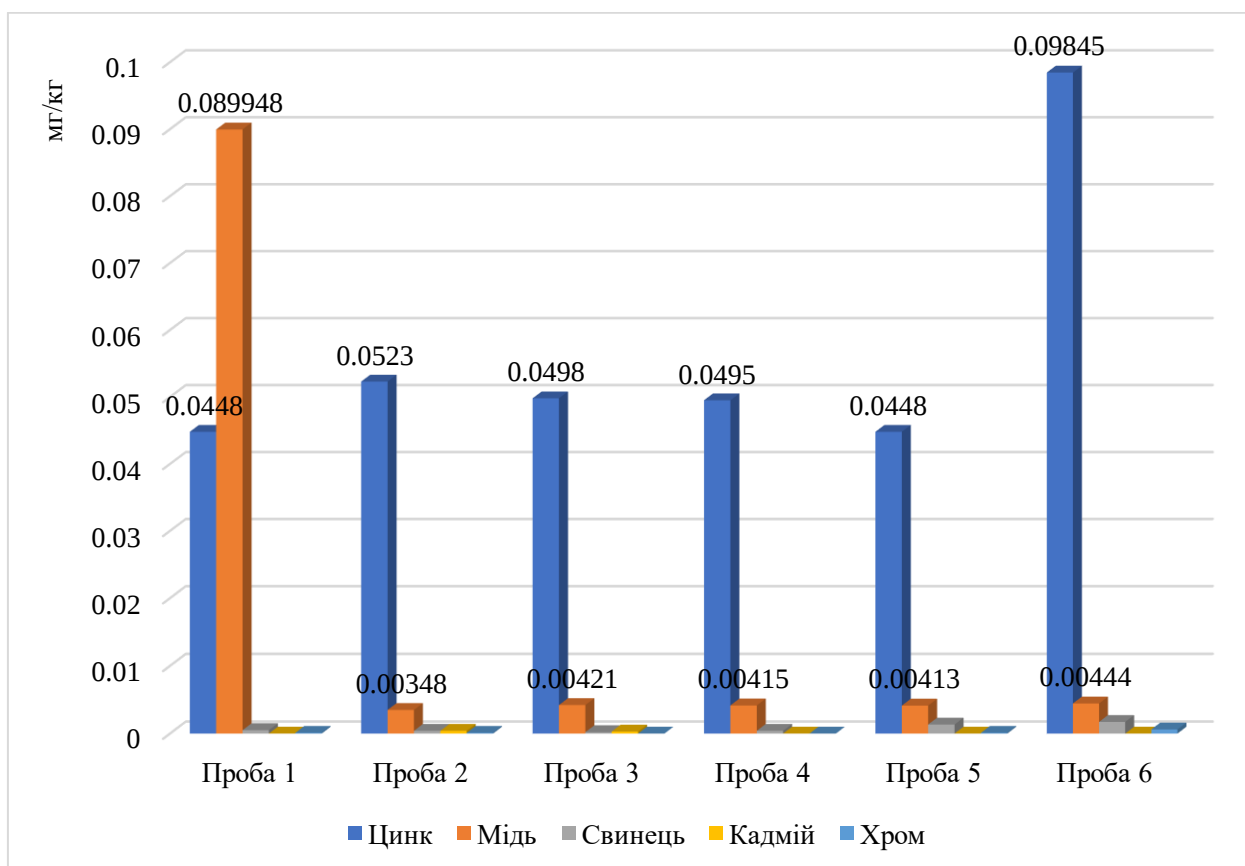


Рис. 3.2 – Розподіл важких металів та пробами

Перевищень ГДК серед відібраних проб не виявлено.

Цинк (Zn). Найвищі концентрації цинку спостерігаються у Пробі 6 (0,09845 мг/кг), взятій поблизу річки Немишля, та у Пробі 2 (0,0523 мг/кг), розташованій поблизу Аерокосмічного проспекту. У всіх інших пробах концентрація цинку є нижчою, зокрема у Пробах 1, 3, 4 та 5 значення перебувають в межах 0,0448–0,0498 мг/кг.

Мідь (Cu). Проба 1, яка була взята поблизу промислової зони ХТЗ, показує значно вищу концентрацію міді (0,089948 мг/кг) порівняно з іншими пробами. В інших місцях концентрація міді є значно нижчою (від 0,00348 до 0,00444 мг/кг), що свідчить про локалізоване забруднення міді у районі Проби 1.

Свинець (Pb). У всіх пробах концентрації свинцю залишаються на низькому рівні. Проба 5 (сільсько-господарські угіддя) та Проба 6 (район річки

Немишля) мають трохи вищі концентрації свинцю (0,00133 та 0,00172 мг/кг відповідно), однак ці значення є значно нижчими за гранично допустимі концентрації (ГДК).

Кадмій (Cd). Концентрації кадмію в пробах є дуже низькими або навіть відсутніми (0 мг/кг у більшості проб). Невеликі сліди кадмію виявлено у Пробах 2 та 3 (0,0004 і 0,0003 мг/кг відповідно), що свідчить про дуже низький рівень забруднення цим елементом.

Хром (Cr). Концентрації хрому у всіх пробах є мінімальними. Трохи вища концентрація (0,0006 мг/кг) спостерігається у Пробі 6, але загалом вміст хрому в ґрунтах Харкова є дуже низьким.

Аналіз за розташуванням місць відбору проб.

Проба 1 (промислова зона ХТЗ). Відзначається підвищений рівень міді (0,089948 мг/кг), що може бути пов'язано з промисловим впливом. Концентрації інших металів залишаються на низькому рівні, хоча вміст цинку також вище, ніж у багатьох інших пробах.

Проба 2 (поблизу Аерокосмічного проспекту). Спостерігається підвищений рівень цинку (0,0523 мг/кг) у порівнянні з іншими пробами. Низькі рівні інших металів, за винятком незначної кількості кадмію (0,0004 мг/кг).

Проба 3 (житловий район на вул. Танкопія). Рівень забруднення металами є низьким. Спостерігається лише невелика кількість міді (0,00421 мг/кг) та кадмію (0,0003 мг/кг).

Проба 4 (рекреаційна зона Саржин Яр). Усі метали присутні у мінімальних концентраціях, що відповідає очікуванням для рекреаційної зони без значного промислового впливу.

Проба 5 (сільсько-господарські угіддя). Спостерігається незначно підвищений рівень свинцю (0,00133 мг/кг), але він є нижчим за ГДК. Це може бути наслідком використання пестицидів або добрив у сільському господарстві. Інші метали залишаються на низькому рівні.

Проба 6 (район річки Немишля). Найвища концентрація цинку (0,09845 мг/кг) та дещо вищий рівень хрому (0,0006 мг/кг) порівняно з іншими пробами. Це може бути пов'язано з поверхневим стоком води, що переносить забруднювачі до річки. Мідь та свинець також наявні, але в незначних кількостях.

Розподіл забруднення: Промислові райони та зони поблизу річок демонструють тенденцію до дещо вищих концентрацій важких металів, особливо цинку та міді. Проби, взяті в рекреаційній зоні та житлових районах, показують низькі концентрації металів, що вказує на менший антропогенний вплив.

Висока концентрація міді в Пробі 1, розташованій поблизу промислової зони ХТЗ, свідчить про можливий локальний вплив цього району. Найвищий рівень цинку в Пробі 6 біля річки Немишля також може вказувати на специфічні джерела забруднення, пов'язані з транспортом або стоками.

Незважаючи на наявність незначного підвищення концентрацій у деяких пробах, всі значення металів знаходяться нижче ГДК. Це вказує на відсутність значного ризику для екосистеми в досліджуваних районах.

3.3. Результати розрахунку індексу забруднення ґрунтів м. Харкова

Проведено розрахунок середніх концентрацій за формулою:

$$K_k = \frac{\text{Середня концентрація металу}}{\text{ГДК}}$$

Середня концентрація цинку

$$\begin{aligned} \overline{Zn} &= \frac{0.0448 + 0.0523 + 0.0498 + 0.0495 + 0.0448 + 0.09845}{6} = \\ &= 0.0569 \frac{\text{мг}}{\text{кг}} \end{aligned}$$

Середня концентрація міді:

$$\begin{aligned}\overline{Cu} &= \frac{0.089948 + 0.00348 + 0.00421 + 0.00415 + 0.00413 + 0.00444}{6} \\ &= 0.0181 \frac{\text{мг}}{\text{кг}}\end{aligned}$$

Середня концентрація свинцю

$$\begin{aligned}\overline{Cu} &= \frac{0.0005 + 0.0004 + 0.0002 + 0.0004 + 0.00133 + 0.00172}{6} \\ &= 0.00076 \frac{\text{мг}}{\text{кг}}\end{aligned}$$

Середня концентрація кадмію

$$\overline{Cd} = \frac{0 + 0.0004 + 0.0003 + 0 + 0 + 0}{6} = 0.00012 \frac{\text{мг}}{\text{кг}}$$

Середня концентрація хрому

$$\overline{Cr} = \frac{0.0001 + 0.0001 + 0 + 0 + 0.0001 + 0.0006}{6} = 0.00015 \frac{\text{мг}}{\text{кг}}$$

Розрахунок коефіцієнтів концентрації (K_k) для кожного металу наведено в табл. 3.2 Коефіцієнт концентрації розраховується як відношення середньої концентрації металу до його ГДК.

Розрахунок індексу забруднення ґрунту (ІЗГ)

Індекс забруднення ґрунту (ІЗГ) — це сума коефіцієнтів концентрації всіх металів:

$$ІЗГ = K_{K_{Zn}} + K_{K_{Cu}} + K_{K_{Pb}} + K_{K_{Cd}} + K_{K_{Cr}}$$

$$ІЗГ = 0.0025 + 0.0060 + 0.00013 + 0.00008 + 0.003 = 0.01171$$

Оскільки $ІЗГ < 1$, загальний рівень забруднення по м. Харкову можна оцінити як допустимий.

Таблиця 3.2

Результати розрахунку коефіцієнтів концентрації

Назва речовини	Цинк, мг/кг	Мідь, мг/кг	Свинець, мг/кг	Кадмій, мг/кг	Хром, мг/кг
Середнє	0,05660	0,01839	0,00075	0,00012	0,00015
ГДК	23	3	6	1,5	0,05
Коеф. концентрації	0,0024612	0,00613	0,000126	0,00008	0,003

Аналіз за місцем проб. Результати розрахунку ІЗГ для кожної локації наведено на графіку (рис.3.3).

Проба 1 має найвищий індекс забруднення ґрунту (ІЗГ), що дорівнює 0.034. Це може вказувати на те, що ця зона відбору проб є найбільш забрудненою серед усіх представлених. Імовірно, це пов'язано з близькістю до промислової зони ХТЗ, де накопичення важких металів може бути вищим.

Проба 6 також має високий індекс забруднення ґрунту (0.018), і це друга за рівнем забруднення зона після Проби 1. Згідно з таблицею, тут спостерігається підвищений коефіцієнт концентрації для хрому (0.012), що значно перевищує концентрації хрому в інших пробах. Проба 6 розташована біля річки Немишля, що може свідчити про забруднення внаслідок водного стоку або близькості до промислових чи міських джерел забруднення.

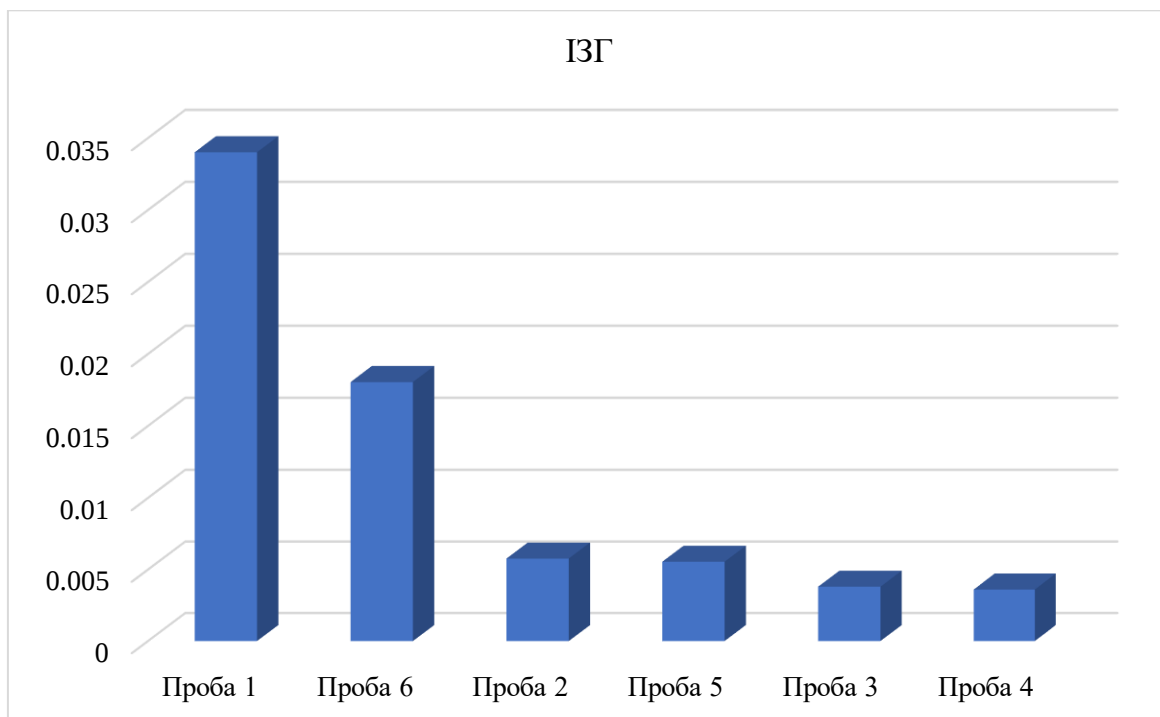


Рис. 3.3 – Розрахунок ІЗГ для локацій відбору проб проб

Інші проби (2, 3, 4, 5) мають значно нижчі індекси забруднення ґрунту, що варіюються від 0.0036 до 0.0057. Це може свідчити про менш інтенсивне забруднення в цих місцях, які включають житлові та сільськогосподарські райони, а також рекреаційні зони.

Всі проби мають дуже низький коефіцієнт концентрації для цинку, близький до 0.002, що свідчить про відсутність суттєвого забруднення цинком у всіх локаціях.

Найвищий коефіцієнт концентрації для міді у Пробі 1 (0.03), що теж може вказувати на промисловий вплив.

Значення коефіцієнтів концентрації для свинцю невеликі, що свідчить про його низький рівень у ґрунті.

Відсутній у більшості проб або присутній у дуже малих концентраціях.

У Пробі 6 значення коефіцієнта концентрації для хрому (0.012) значно вище, що підтверджує наявність підвищеного забруднення цією речовиною в зоні біля річки.

Зони Проби 1 та Проби 6 мають найбільше забруднення, що підтверджується їхніми індексами забруднення ґрунту. Це може свідчити про промисловий вплив та забруднення, пов'язане з водним стоком у випадку Проби 6.

Усі значення концентрацій важких металів є значно нижчими за ГДК, що вказує на відсутність значного антропогенного забруднення.

Найвищі показники концентрацій були зафіксовані в пробах, що розташовані поблизу річки та промислової зони, але жодна з концентрацій не перевищує допустимі межі.

Загальний індекс забруднення ґрунту (ІЗГ) становить 0.01171, що свідчить про низький рівень забруднення на території дослідження.

РОЗДІЛ 4.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Результати дослідження екологічного стану ґрунтів міста Харкова дозволяють сформулювати низку рекомендацій, спрямованих на поліпшення їхнього стану, раціональне використання територій і підвищення екологічної безпеки міста. Основні напрями використання отриманих даних включають планування природоохоронних заходів, моніторинг територій, розробку екологічної політики та освітні ініціативи.

1. Планування природоохоронних заходів. Отримані результати свідчать про низький рівень забруднення ґрунтів на більшості досліджених територій, однак у зонах, прилеглих до промислових об'єктів і водних об'єктів, відзначено підвищені концентрації деяких важких металів. Для цих територій рекомендується рекультивація промислових зон. Проведення заходів з очищення та відновлення ґрунтів у районах промислового впливу, таких як зона ХТЗ. Можливе застосування фіторе mediaції, тобто використання рослин для видалення забруднювачів. Упорядкування зон водних об'єктів. Забезпечення захисту берегових смуг річок, таких як Немишля, від надходження стоків, які можуть містити важкі метали. Це передбачає створення буферних зон із зеленими насадженнями. Контроль за внесенням агрохімікатів. У сільськогосподарських угіддях, прилеглих до міста, доцільно запровадити жорсткіші норми використання мінеральних добрив і пестицидів, які можуть стати джерелом забруднення важкими металами.

2. Розробка довгострокової програми моніторингу ґрунтів. Результати дослідження свідчать про локалізовані зони з підвищеними концентраціями цинку, міді та хрому, які потребують детальнішого аналізу. Рекомендується створення моніторингової мережі. Регулярний відбір проб у районах із виявленим антропогенним впливом, зокрема поблизу промислових підприємств та транспортних вузлів. Використання сучасних технологій. Застосування геоінформаційних систем (ГІС) для просторового аналізу

забруднення ґрунтів і прогнозування його динаміки. Сезонний аналіз. Проведення досліджень у різні сезони року для визначення впливу кліматичних факторів на міграцію забруднювачів у ґрунтовому покриві.

3. Розробка екологічної політики. На основі отриманих результатів пропонується вдосконалення місцевих нормативів. Включення індексів забруднення ґрунтів у локальні екологічні стандарти міста Харкова, що дозволить враховувати специфіку забруднення. Підтримка екологічних проектів. Залучення інвестицій для фінансування проектів з очищення та відновлення ґрунтів, а також розробки інноваційних методів зниження забруднення. Міжвідомча співпраця. Налагодження взаємодії між екологічними службами, промисловими підприємствами та науковими установами для створення інтегрованої системи управління якістю ґрунтів.

4. Екологічна освіта та підвищення обізнаності населення. Для забезпечення сталого розвитку міста важливим є залучення громади до вирішення проблем забруднення ґрунтів. Пропонується проведення освітніх кампаній. Інформування мешканців Харкова про причини та наслідки забруднення ґрунтів, а також про можливості їхнього попередження. Залучення громадських організацій. Підтримка ініціатив з моніторингу та озеленення територій, таких як акції зі створення парків і скверів. Екологічні програми у школах та університетах. Введення курсів, присвячених проблемам урбанізації, забруднення ґрунтів та способам їх вирішення.

5. Наукові дослідження та інновації. З метою поглиблення розуміння механізмів забруднення ґрунтів і розробки ефективних методів їхнього очищення доцільно проводити міждисциплінарні дослідження. Аналіз впливу урбанізації, промисловості та транспорту на якість ґрунтів з використанням новітніх лабораторних і аналітичних методів. Розробляти інноваційні технології. Використання наноматеріалів, біотехнологій і дронів для моніторингу та очищення ґрунтів. Залучення міжнародного досвіду. Інтеграція найкращих практик із країн ЄС щодо збереження та відновлення якості ґрунтів.

Отже, результати оцінки екологічного стану ґрунтів міста Харкова мають широке практичне значення та можуть бути використані для покращення екологічної ситуації міста. Вони сприятимуть підвищенню ефективності управління природними ресурсами, мінімізації негативного впливу антропогенних факторів і забезпеченню сталого розвитку міських екосистем.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проведено оцінку екологічного стану ґрунтів міста Харкова, проведено аналіз концентрацій важких металів у ґрунтах із різних територій міста та розраховано показники забруднення.

Стан ґрунтів у більшості досліджених зон Харкова є задовільним. Концентрації важких металів (цинк, мідь, свинець, кадмій, хром) у всіх пробах є нижчими за гранично допустимі концентрації (ГДК), що свідчить про відсутність значного техногенного впливу в більшості локацій.

Локалізовані зони з підвищеним рівнем забруднення. Проби, взяті поблизу промислових об'єктів (ХТЗ) та у районі річки Немишля, мають вищі показники концентрації цинку, міді та хрому порівняно з іншими ділянками. Це вказує на вплив промисловості та можливе надходження забруднювачів через поверхневий стік води.

Низький загальний рівень забруднення ґрунтів міста. Розрахунок індексу забруднення ґрунтів (ІЗГ) показав, що загальний рівень забруднення на досліджених територіях є допустимим ($ІЗГ = 0,01171$), а значення коефіцієнтів концентрації для окремих металів є значно нижчими за порогові рівні.

Екологічні проблеми в окремих районах. Найвищий рівень забруднення металами зафіксовано в зоні поблизу промислового підприємства ХТЗ (найвищі концентрації міді) та на території річки Немишля (найвищі концентрації цинку та хрому). Ці території потребують детальнішого моніторингу та розробки заходів з мінімізації антропогенного впливу.

Відносно стабільний стан рекреаційних зон і житлових масивів. У пробах, відібраних у зонах житлової забудови та зелених насаджень (Саржин Яр, вул. Танкопія), концентрації важких металів є мінімальними, що підтверджує низький рівень забруднення цих територій.

Рекомендації для покращення екологічного стану. На основі отриманих результатів запропоновано низку заходів, серед яких: рекультивація ґрунтів у

промислових зонах; створення буферних зон біля водних об'єктів; впровадження сучасних технологій моніторингу ґрунтів із використанням геоінформаційних систем (ГІС); розробка місцевих екологічних нормативів для зон із підвищеним техногенним навантаженням.

Отримані дані є важливим інструментом для екологічного моніторингу та подальшого планування природоохоронних заходів у місті Харкові і дозволяють визначити ключові зони ризику, вчасно вживати запобіжних заходів і забезпечити сталий розвиток міських екосистем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яцук І. П., Дегтярьов В. В., Тихоненко Д. Г., Горін М. О. Моніторинг ґрунтів природних та агроєкосистем як наукова основа збереження ґрунтового різноманіття. *Агроєкологічний журнал*. 2016. № 4. С.57-66.
URL: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2016.271211> .
2. Gholizadeh A., Saberioon M., Ben-Dor E., & Borůvka L. Monitoring of selected soil contaminants using proximal and remote sensing techniques: Background, state-of-the-art and future perspectives. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2018. 48(3), P. 243–278.
URL: <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1447717>.
3. Zhukov, O., Kunakh, O., Yorkina, N. et al. Response of soil macrofauna to urban park reconstruction. *Soil Ecol. Lett.* 2023. 5, 220156.
URL: <https://doi.org/10.1007/s42832-022-0156-0> .
4. Lv Z. Construction of soil environment information management platform based on ArcGIS. *2020 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020. 546 032039
[DOI:10.1088/1755-1315/546/3/032039](https://doi.org/10.1088/1755-1315/546/3/032039).
5. Tudor B., Bucevschi B. T. Analysis of the Influence of Pesticides on the Soil in an Agricultural Area. *The Annals of “Dunarea de Jos” University of Galati. Fascicle IX, Metallurgy and Materials Science*. 2021. 44, 4 (Dec. 2021), P. 60-66.
URL: <https://doi.org/10.35219/mms.2021.4.11> /
6. Li X., Zhu W., Qin Y., Yin F. Research Progress and Prospects of Soil Pollution Assessment and Prediction Models. *2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2019. 304 052042 [DOI:10.1088/1755-1315/304/5/052042](https://doi.org/10.1088/1755-1315/304/5/052042).
7. Wang Mingze, Liu Dianfeng, Jia Jinglei, Zhang Xiaoyi. Global trends in soil monitoring research from 1999–2013: a bibliometric analysis. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*. 2015. 65. P. 483-495. 10.1080/09064710.2015.1030443.
8. Li X., Zhu W., Qin Y., Yin F. Research Progress and Prospects of Soil Pollution Assessment and Prediction Models. *IOP Conference Series: Earth and*

Environmental Science, 2019. 340 (5), art. no. 052042, DOI: 10.1088/1755-1315/304/5/052042

9. Keith A. M., Griffiths R. I., Henrys P. A., Hughes S., Lebron I., Maskell L.C. Monitoring soil natural capital and ecosystem services by using large-scale survey data. In M. Stromberger, N. Comerford, & D. Lindbo (Eds.), *Soil ecosystems services*. 2015. Madison, WI: Soil Science Society of America.

URL: <https://doi.org/10.2136/2015.soilecosystemsservices.2014.0070>

10. Zhang Z. Analysis of Soil Pollution Status in Different Land Use Types. *Frontiers in Sustainable Development*. 2023. 3, 7 (Jul. 2023). Pp. 105–109. DOI: <https://doi.org/10.54691/fsd.v3i7.5338>.

11. Gholizadeh A., Saberioon M., Ben-Dor E., Borůvka L. Monitoring of selected soil contaminants using proximal and remote sensing techniques: Background, state-of-the-art and future perspectives. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2018. 48(3). Pp. 243–278.

URL: <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1447717> .

12. Jing Wang, Xianfeng Cheng, Qinhui Huang, Xi Ying. Analysis method of regional soil pollutants based on distributed sensing technology. *Proc. SPIE 12246, 2nd International Conference on Signal Image Processing and Communication (ICSIPC 2022)*, 2022. 1224604 (9 October 2022).

URL: <https://doi.org/10.1117/12.2643704>.

13. Zhou L.Y., Zuo W.G., Li Z.M., Luo C.S. Research profiling of soil pollution from 2000 to 2013. *Advanced Materials Research*, 2014. Pp. 955-959. 3665-3670. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.955-959.3665> .

14. Дрозд О. М., Журавель М. Ю., Найдьонова О.Є., Леженіна І. П., Полчанінова Н. Ю. Визначення локальних змін підтримувальної екосистемної послуги ґрунтів територій нафтогазовидобутку. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. Науково-технічний журнал* 2018. № 2 (18). С. 15–25. DOI: 10.31471/2415-3184-2018-2(18)

URL: <https://esbur.com.ua/uk/journals/no-2-18-2018>.

15. Vashukevich N., Gusev A., Varnina V.A., Chulkov V., Fedorov A. (). Agroecological monitoring of soils in the educational and experimental farm of the Ural State Agrarian University. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022. 1043(1), 012020.

URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012020>.

16. Ande O., Senjobi B. (2014). Land degradation assessment of agrarian soils in Ebonyin State for sustainable production. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 6(4), Pp. 150–158. URL: <https://doi.org/10.5897/JENE10.081>.

17. Seaton F. M., Barrett G., Burden A., Creer S., Fitos E., Garbutt A., Robinson D. A. (). Soil health cluster analysis based on national monitoring of soil indicators. *European Journal of Soil Science*, 2020. 71(2). Pp. 278–295.

URL: <https://doi.org/10.1111/ejss.12958>.

18. Huang J., Wang Y., Liu Z. R., Zhang Y. (). Evaluation on potential ecological risk of heavy metals in soil of Yanjiao. *Advanced Materials Research*, 2014. 1044-1045. Pp. 314–318.

URL: <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.1044-1045.314>.

19. Neagu A., Soceanu A., Birghila S. Analysis of soils parameters in correlation with vegetation period. *Revista de Chimie*, 2020. 71(9). Pp. 326–331.

URL: <https://doi.org/10.37358/rc.20.9.8331>.

20. Purnama T. J., Wijayanto N., Wasis B. Assessing soil properties in various agroforestry lands in Kuningan District, West Java, Indonesia using Visual Evaluation of Soil Structure (VESS). *Biodiversitas*, 2022. 23(6). Pp. 3112–3120.

URL: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230628>.

21. Bono J. A., Macedo M., Tormena C. A. Qualidade física do solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2013. 37(3). Pp. 591–599.

URL: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300021>.

22. Sinore T., Chernet M., Detamo K., Yohannes M. Effect of soil management practices on soil physico-chemical properties: A case of Wera Sub-

Watershed, Southern Ethiopia. *Advances in Agriculture*. 2022. Article ID 5370477. URL: <https://doi.org/10.1155/2022/5370477>.

23. Крайнюков О. М., Хоменко А. С., Крайнюков А. О. Еколого-токсикологічна оцінка якості ґрунтів в межах впливу нафтопереробного підприємства. *Молодий вчений*. 2020. № 1. С. 113–119. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-1-77-25>.

24. Крайнюков О., Кривицька І., Найдьонова О. Еколого-токсикологічна оцінка якості ґрунтів, які знаходяться під впливом Зміївської ТЕС. *Молодий вчений*, 2023.12 (124). Рр.12-16. URL: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2023-12-124-22>.

25. Крайнюков О. М., Мірошніченко І. М., Сябрук О. М., Гладкіх Є. О. Вплив нафтового забруднення на перебіг змін властивостей чорнозему та його фітотоксичність. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2022. Вип. 57. С. 296–306. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-22>.

26. Кривицька І. А., Крайнюков О. М. Принципи та методи діагностики та моніторингу важких металів у ґрунті урбанізованих територій. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2023. № 12 (146). С. 9–12. DOI: URL: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-12>.

27. Безсонний В. Л., Некос А. Н., Огородник А. М. Важкі метали в ґрунтах мегаполісів. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XX Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. С.85-87.