

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА
Факультет гідрометеорології і екології
Кафедра екології та охорони довкілля

Кваліфікаційна робота
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

**ОЦІНКА ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ҐРУНТОВОГО
ПОКРИВУ ОКРЕМИХ ПАРКІВ МІСТА ОДЕСА**

**ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTAMINATION OF THE SOIL
COVER OF SELECTED PARKS IN ODESA**

Виконав: здобувач денної форми навчання
спеціальності 101 «Екологія»
Освітньо-професійна програма Екологія, охорона
навколишнього середовища та збалансоване
природокористування

Шелінговський Дмитро Валерійович
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

Керівник д. г.-м. н., проф. Сафранов Т.А.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент д. економ. н., проф. Сербов М.Г.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
екології та охорони довкілля
№ ____ від ____ . ____ . 2025 р.

Завідувачка кафедри
Ангеліна ЧУГАЙ
(підпис) (прізвище, ім'я)

Захищено на засіданні ЕК № 1
протокол № ____ від ____ . ____ . 2025 р.

Оцінка _____ / _____ / _____
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК

_____ Олена НІКІПЕЛОВА
(підпис) (прізвище, ім'я)

Одеса 2025

АНОТАЦІЯ

Оцінка забруднення важкими металами ґрунтового покриву окремих парків міста Одеса. Шелінговський Д.В.

Актуальність теми. Важкі метали (ВМ) є одними з небезпечних забруднюючих речовин міського середовища. У зв'язку з цим надзвичайно актуальною задачею є вивчення основних джерел надходження важких металів, аналіз їхнього розподілу в складових довкілля міст, зокрема у ґрунтовому покриві.

Метою роботи є аналіз закономірностей розподілу деяких ВМ у ґрунтах міського середовища за даними з опублікованих і фондкових джерел інформації. Для досягнення цієї мети необхідне вирішення таких задач дослідження: 1) охарактеризувати загальні уявлення про ВМ та забруднення ними ґрунтів; 2) розглянути методи визначення ВМ у ґрунтах та використання інформації щодо їхнього вмісту; 3) охарактеризувати особливості розподілу важких металів у ґрунтовому покриві регіонів України; 4) проаналізувати особливості забруднення важкими металами ґрунтового покриву на території міста Одеса.

Об'єктом дослідження є оцінка забрудненості важкими металами міського середовища, а *предметом дослідження* – особливості забруднення складових міського середовища, зокрема ґрунтового покриву території Одеси.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є критичний аналіз існуючої інформації щодо забрудненості важкими металами регіонів та урбанізованих територій України. При виконанні роботи були використані опубліковані дані вітчизняних і зарубіжних авторів, а також матеріали власних доробок. Результати досліджень узагальнені у вигляді таблиць, які побудовані з використанням програми Excel. Крім того, використовувалися методи статистичного та порівняльно-географічного аналізу інформації.

Результати дослідження. Підвищений вміст ВМ у ґрунтах зафіксовано на ділянках промислової зони та на автомагістралях з інтенсивним рухом автотранспортних засобів. На фоні цих техногенно-напружених частин урбанізованої території важливе місце займають паркові зони та сквери, але й за даними на цих територіях спостерігаються перевищення концентрацій окремих ВМ порівняно зі значеннями гранично допустимої концентрації (ГДК), за винятком вмісту міді.

Апробація і публікації. Основні результати дослідження доповідалися на наукових конференціях студентів і молодих вчених колишнього ОДЕКУ і ОНУ імені І.І Мечникова. За темою роботи опубліковані тези доповідей і підготовлена до друку стаття у періодичне видання, що входить до НМБ Scopus.

Структура і обсяг роботи. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань (28 найменувань) та додатків. Робота містить 17 таблиць, 19 рисунків. Загальний обсяг роботи – 58 сторінок.

Ключові слова. важкі метали, ґрунти, забруднення, ґрунтовий покрив, урбанізована територія.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	5
ВСТУП.....	6
1. ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ВАЖКІ МЕТАЛИ ТА ЗАБРУДНЕННЯ НИМИ ҐРУНТІВ.....	8
2. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В ҐРУНТАХ ТА ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО ЇХНЬОГО ВМІСТУ.....	18
3 ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТОВОМУ ПОКРИВІ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ.....	26
4 ОСОБЛИВОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ НА ТЕРИТОРІЇ ОДЕСИ.....	36
ВИСНОВКИ.....	49
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	51
ДОДАТКИ.....	55

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВМ – важкі метали

ГДК – гранично допустима концентрація

ЗР – забруднююча речовина

КН – коефіцієнт накопичення

МДР – максимально допустимий рівень

НАН – Національна академія наук

НПС – навколишнє природне середовище

НС – навколишнє середовище

СЕ – сенсорний елемент

СОП – стандартна операційна процедура

ТЕС – теплова електростанція

ХЕ – хімічний елемент

ВСТУП

В умовах інтенсивного науково-технічного прогресу забруднення компонентів довкілля, зокрема ґрунтового покриву, набуває особливого значення, однією з найбільш серйозних екологічних проблем щодо стану ґрунтів є забруднення важкими металами (ВМ). Важкі метали небезпечні тим, що вони мають здатність накопичуватися в живих організмах, входити до метаболічного циклу, утворювати високотоксичні метало-органічні сполуки, змінювати форми знаходження під час переходу від одного природного середовища до іншого, не піддаючись біологічному розкладу.

Крім дестабілізації ґрунтового складу, зниження чисельності та видів ґрунтових мікроорганізмів, забруднення ґрунтів ВМ сприяє надходженню по харчових ланцюжках токсичних речовин в організм людей, що призводить до зростання захворюваності. Забруднення важкими металами може зменшити пористість ґрунтів, впливаючи на циркуляцію повітря, води та поживних речовин.

Небезпека важких металів полягає також у тому, що вони забруднюють усі природні складові довкілля. Важкі метали є не тільки токсикантами, а й природними мікрокомпонентами ґрунтів, вміст яких обумовлено механічним і хімічним складом материнських порід і характером процесів утворення ґрунтів. Фоновий вміст важких металів у ґрунтах — вміст, що відповідає їхнім природним концентраціям у ґрунтах різних ґрунтово-кліматичних зон, що не відчують помітного антропогенного впливу. Тому оцінка рівня забруднення ґрунтів урбанізованих територій і сільськогосподарських угідь є актуальною проблемою.

Метою даної роботи є оцінка рівня забруднення важкими металами ґрунтів окремих ділянок Одеської промислово-міської агломерації та сільськогосподарських угідь окремих районів Одеської області.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) навести загальні уявлення про ВМ та забруднення ними ґрунтів;
- 2) охарактеризувати методи визначення важких металів в ґрунтах та використання інформації щодо їхнього вмісту;
- 3) проаналізувати особливості розподілу важких металів у ґрунтового покриві регіонів України;
- 4) надати оцінку особливостей забруднення важкими металами ґрунтового покриву на території Одеси.

Об'єктом дослідження є оцінка рівня забруднення важкими металами ґрунтового покриву регіонів України.

Предметом дослідження є особливості забруднення складових міського середовища, зокрема ґрунтового покриву території Одеси.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є критичний аналіз існуючої інформації щодо забрудненості важкими металами регіонів та урбанізованих територій України. Під час виконання роботи були використані опубліковані дані вітчизняних і зарубіжних авторів, а також матеріали власних доробок. Результати досліджень узагальнені у вигляді таблиць, які побудовані з використанням програми Excel. Крім того, використовувалися методи статистичного та порівняльно-географічного аналізу інформації.

Результати дослідження. Підвищений вміст ВМ у ґрунтах зафіксовано на ділянках промислової зони та на автомагістралях з інтенсивним рухом автотранспортних засобів. На фоні цих техногенно-напружених частин урбанізованої території важливе місце займають паркові зони та сквери, але й за даними на цих територіях спостерігаються перевищення концентрацій окремих ВМ порівняно зі значеннями ГДК, за винятком вмісту міді.

Структура і обсяг роботи. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань (28 найменувань) та додатків. Робота містить 17 таблиць, 19 рисунків. Загальний обсяг роботи – 58 сторінок

1 ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ВАЖКІ МЕТАЛИ ТА ЗАБРУДНЕННЯ НИМИ ҐРУНТІВ

Термін «важкі метали» (ВМ), який характеризує досить широку групу забруднюючих речовин (ЗР), набуває все інтенсивнішого поширення. Загалом, важкі метали – це умовна назва групи хімічних елементів (ХЕ), що мають металічні властивості, до неї належать перехідні метали, певні металоїди, актиноїди та лантаноїди. Задля класифікації до цієї групи хімічних елементів використовують різноманітні критерії, зокрема: атомна маса, густина, токсичність, поширеність у навколишньому середовищі (НС) тощо.

У наукових напрацюваннях, присвячених проблемам забруднення навколишнього природного середовища (НПС) і моніторингу довкілля, до важких металів належать понад 40 хімічних елементів періодичної таблиці Д.І. Менделєєва з понад 50 атомних одиниць. Значним критерієм визначення цих хімічних елементів є їхня висока токсичність для організмів при досить низьких концентраціях, а також здатність до біомагніфікації та біоаккумуляції.

«Взагалі термін «важкі метали» вперше був використаний та впроваджений у наукову літературу німецьким хіміком Леопольдом Гмеліном у його фундаментальній праці 1817 року «Handbuch der theoretischen Chemie» («Довідник з теоретичної хімії»). Згідно з класифікацією Гмеліна до важких металів належали елементи з щільністю понад $4,5 \text{ г/см}^3$ » [1].

Автор відомого словника-довідника «Природокористування» (1990) М.Ф. Реймерс «класифікував важкі метали за густиною, яка складала понад 8 г/см^3 ». Формально визначенню «важких металів» відповідає значна кількість хімічних елементів. Проте, згідно з напрацюваннями дослідників, що займаються практичною діяльністю, яка пов'язана з організацією спостережень за станом довкілля, сполуки цих хімічних елементів далеко не рівнозначні як забруднюючі речовини. Тож, здебільшого у наукових роботах

відбувається звуження групи «важких металів, відповідно до критеріїв пріоритетності, які зумовлені специфікою та напрямком досліджень.

З екологічної позиції серед усіх важких металів безпосередній інтерес викликають ті метали, що найширше й у значних обсягах використовуються у виробничій діяльності людини, у результаті накопичуючись у зовнішньому середовищі, становлячи серйозну небезпеку через характерну біологічну активність і токсичні властивості. Насамперед до них належать: *Pb, Hg, Cd, Zn, Bi, Co, Ni, Cu, Sn, Sb, V, Mn, Cr, Mo, As*.

Нині важкі метали мають досить широке поширення у різних галузях господарства, науки і техніки та навіть у буденному житті людини.

«До ґрунтового покриву важкі метали надходять через різноманітні джерела» [2], на рис. 1.1 репрезентовано найпоширеніші серед них.

«Основним джерелом забруднення ґрунтів важкими металами є спалювання викопного палива. Щорічно згорає 5 млрд т горючих копалин (за історію людства, за оцінками фахівців, спалено 130 млрд т вугілля і 40 млрд т нафти). У золі вугілля та нафти містяться практично всі метали у сумарній концентрації до 500 г на тонну палива. У цьому є сутність аерально-техногенного характеру надходження важких елементів у ґрунти. Зазначимо, що джерелами важких металів у ґрунтах можуть бути промислові підприємства (металургійні, машинобудівні, нафтопереробні та інші)».

«Помітну роль забруднення ґрунтів має транспорт. Наприклад, щорічно від вихлопних газів автомобільних двигунів, які працюють на етильованому бензині, викидається на поверхню ґрунтів понад 250 тис. т свинцю на рік. Викиди в атмосферу тільки від ремонтних підприємств залізниць у вигляді пилу, що осідає на ґрунт (в основному це оксиди металів), становить понад 380 тис. т на рік. Гальмівні колодки поїздів, стираючись, також вносять до ґрунтів поблизу залізниць ще 200 тис. т металів на рік. Таким чином, відбувається неухильне збільшення масштабів забруднення ґрунту важкими металами. При цьому найбільш небезпечним є накопичення в ґрунті металів з вираженим токсичним характером — ртуті, свинцю, кадмію. Згубна дія важких металів,

що містяться в промислових газових викидах, може значно посилюватися шляхом впливу інших шкідливих компонентів викидів. Дуже небезпечними у цьому відношенні є димові викиди алюмінієвих, керамічних та деяких інших підприємств» [2].

За межами урбанізованих територій важкі метали можуть надходити у ґрунтовий покрив при внесенні мінеральних добрив та використання деяких пестицидів.

Залежно від роду джерел і властивостей у ґрунті розрізняються два типи важких металів:

- 1) літогенні, пов'язані з материнською породою;
- 2) антропогенні, ті, що потрапляють до ґрунту внаслідок діяльності людини [2].

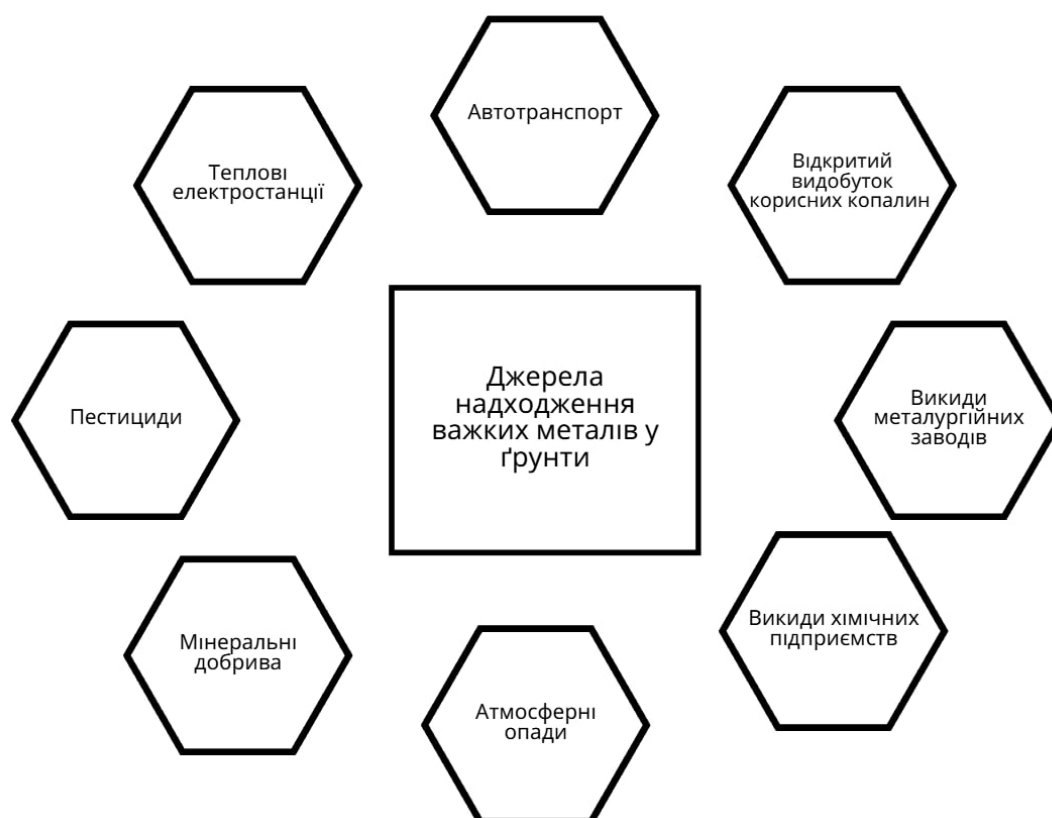


Рисунок 1.1 – Джерела надходження важких металів у ґрунтах [2]

До прикладу, «навколо гірничо-металургійних комбінатів забрудненість ґрунту висока в радіусі 5 км, зменшення фіксують у радіусі 20–50 км. Біля

великих теплових електростанцій (ТЕС) забруднення ґрунтового покриву відбувається в радіусі 10–20 км» [2].

Не менш серйозною екологічною проблемою є хімізація сільського господарства, нераціональне застосування пестицидів і мінеральних добрив – досить потужне антропогенне джерело забруднення навколишнього середовища важкими металами. У сільському господарстві у склад деяких пестицидів входять сполуки окремих важких металів (*Hg, Sn, Zn, Cu*).

Містяться важкі метали також в мінеральних добривах, виробництво і застосування яких щорічно зростає. Загально відомо, що розширення масштабів застосування металовмісних мінеральних добрив і пестицидів сприяє зростанню їхнього вмісту в ґрунтах.

«Значним чином важкими металами забруднені ґрунти вздовж автомагістралей (особливо свинцем). Варто зазначити, свинець (у вигляді тетраетилсвинцю та тетраметилсвинцю) почали додавати на початку 1920-х років у пальне, щоб підвищити його ефективність (октанове число). Наразі в Україні використання етилованого бензину та свинцевих добавок до бензину заборонено, хоча концентрації *Pb* поблизу поживлених автошляхів продовжують зростати» [3].

«У ґрунтах важкі метали мають здатність:

- утворювати малорухливі форми;
- мігрувати у вигляді розчинних сполук;
- накопичуватися у продукції та передаватися через трофічні ланцюги;
- зв'язуватися у стійкі розчинні комплекси (з гуміновими та фульвокислотами);
- поглинатися ґрунтово-поглинальним (вбирним) комплексом;
- потрапляти до ґрунтових організмів»[2].

«Варто зазначити, що рослини мають різну стійкість до важких металів, окремі види здатні поглинати та накопичувати важкі метали, що дає змогу очистити ґрунт. Дедалі більшого поширення нині набуває фітореMediaція» [4], яка представляє набір екологічних технологій, що засновані на використанні

рослин та асоціативних з ними мікроорганізмів для очищення ділянок від важких металів, радіонуклідів тощо. Найстійкішими до важких металів є целюлозолітичні бактерії та мікроскопічні гриби» [2].

«Загалом важкі метали у ґрунтовому покриві перебувають у рухомих та нерухомих формах. Значну небезпеку становлять саме рухомі форми важких металів, через здатність зберігатися у рослинах та продукції, звідти потрапляючи харчовими ланцюгами до організму людини та накопичуючись у кістках та органах, спричиняючи їхню дисфункцію» [5].

«Важливо зауважити, що окремі важкі метали не є токсичними для рослин, (наприклад, у малих концентраціях мідь та цинк є необхідними мікроелементами для їхнього функціонування).

«Дослідження важких металів у ґрунтовому покриві, джерел їхнього надходження та шляхів міграції є важливими для розробки ефективних методів зменшення рівня забруднення компонентів навколишнього середовища та запобігання негативних наслідків для життя та здоров'я населення» [5].

«На відміну від більш динамічних середовищ, а саме атмосфери і гідросфери, де відбуваються процеси систематичного самоочищення від важких металів, ґрунт практично не має такої здатності. Ґрунти від важких металів очищуються дуже повільно лиш під час вилуговування, поглинання рослинами й у процесі водної ерозії та дефляції» [5].

«За ступенем небезпеки для організмів розподіляють важкі метали на три класи (табл. 1.1)» [6].

Таблиця 1.1 – Класи небезпеки забруднюючих речовин [6]

№ класу	Назва класу	Елемент
I	Високо небезпечні	<i>Hg, Cd, Pb, Zn, As, Se, F</i>
II	Помірно небезпечні	<i>Cu, Co, Ni, Mo, Cr, B, Sb</i>
III	Мало небезпечні	<i>V, W, Mn, Sr, Ba</i>

За даними [6], в табл. 1.2 представлено інформацію про біогеохімічні властивості деяких важких металів.

Таблиця 1.2 – Певні біогеохімічні властивості деяких важких металів [6]

Властивість	Назва хімічного елемента						
	<i>Cd</i>	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Hg</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
Біохімічна активність	висока	висока	висока	висока	висока	висока	висока
Токсичність	висока	помірна	помірна	висока	помірна	висока	помірна
Рухомість	висока	низька	помірна	висока	низька	висока	помірна
Ефективність накопичення	висока	помірна	висока	висока	помірна	висока	висока
Розчинність сполук	висока	низька	висока	висока	низька	висока	висока

Як вказано в роботі [6], «на розподіл важких металів у ґрунті впливають такі фактори:

- 1) гранулометричний склад;
- 2) оксиди та гідроксиди;
- 3) реакція середовища та окислювально-відновний потенціал;
- 4) карбонати;
- 5) органічна речовина ґрунту;
- 6) використання добрив;
- 7) ґрунтова біота;
- 8) міграція за профілем ґрунту;
- 9) властивості конкретного металу».

Нагадаємо, що усі основні процеси міграції важких металів у природних середовищах (водних, атмосферних, біологічних) беруть початок у ґрунті. Саме у ґрунтах відбувається їхня мобілізація і утворення різноманітних міграційних форм. Більша частина важких металів, що потрапили на поверхню

грунтового покриву, закріплюються саме у верхніх гумусових (родючих) горизонтах.

«Ті важкі метали, що надходять з повітряного басейну тією чи іншою мірою фіксуються за участі ґрунтового покриву. Процес фіксації важких металів включає адсорбцію, осадження, коагуляцію, міжпакетне поглинання глинистими мінералами. Важкі метали адсорбуються на поверхні ґрунтових часток, зв'язуючись з органічною речовиною ґрунту, акумулюються в гідроксидах заліза, є складовими кристалічних решіток глинистих мінералів, перебувають у розчинному стані у ґрунтовій воді і в газоподібному стані – у ґрунтовому повітрі». Своєю чергою рухливість важких металів залежить від геохімічних умов й рівня техногенного навантаження на середовище» [6].

Спочатку метали адсорбуються переважно неспецифічно. Згодом відбувається зміцнення зв'язку важких металів з ґрунтовим поглинальним комплексом, що виявляється у зменшенні вмісту водорозчинних та неміцно пов'язаних форм. У природних умовах цьому сприяє часта зміна режимів зволоження та висушування ґрунту. У процесі сорбції важких металів ґрунтом вони іммобілізуються і переводяться в нетоксичні форми, деякі входять до кристалічних решіток алюмосилікатів.

Важливе значення у рухомості важких металів має величина pH , підвищення значень цього показника сприяє підсиленню поглинання катіон-утворюючих металів (Cu, Zn, Ni, Hg, Pb та) і підвищенню рухомості аніон-утворюючих металів (Mo, Cr, V тощо).

«Свинець і мідь техногенного походження, трансформуються в ґрунтах у менш рухливі, а цинк і кадмій – в більш рухливі сполуки. При взаємодії важких металів із глинистими мінералами виникають обмінні та необмінні форми. Наприклад, цинк техногенного походження виявляє більшу, ніж мідь, свинець і кадмій, спорідненість до мінеральних компонентів ґрунтового поглинального комплексу. У зв'язку з цим глиниста фракція ґрунтів збагачена цинком і збіднена міддю та свинцем у порівнянні з усією ґрунтовою масою. У нижніх ґрунтових горизонтах основна роль у закріпленні важких металів

належить оксидам і гідроксидам заліза, марганцю і алюмінію. Найбільш міцно закріплюються та активно поглинаються мідь, цинк, свинець. У ґрунтах, багатих на залізо, багато важких металів стають малорухливими через процеси оклюзії» [3].

«Ртуть, свинець, кадмій та інші важкі метали добре поглинаються у верхніх шарах (товщиною кілька сантиметрів) перегнійно-акумулятивного (гумусового) горизонту різних типів ґрунтів суглинистого складу. Їхня міграція профілем та винесення за межі ґрунтового профілю незначні. Однак у ґрунтах легкого складу, кислих та збіднених гумусом, процеси міграції цих елементів посилюються. Цинк та мідь менш токсичні, але більш рухливі, ніж свинець та кадмій. Поведінка важких металів у ґрунті залежить від її окисно-відновних умов та кислотності. Міграційна здатність *Cu*, *Ni*, *Co*, *Zn* у відновному середовищі знижується на 1-2 порядки в порівнянні з окислювальною. Найбільш перешкоджаючі умови для зв'язку складаються у підзолистих і дерново-підзолистих ґрунтах, що мають несприятливі фізичні та хімічні властивості через підвищену кислотність та вміст у ґрунтовому поглинального комплексу іонів алюмінію. Зазначені умови сприяють переходу металів у біологічні тканини, підвищеній міграції ВМ, погіршенню життєдіяльності нітрифікуючих та азотфіксуєуючих бактерій, часто спричиняють зниження родючості ґрунтів» [3].

У літній період міграція важких металів у поверхневі води пов'язана з процесами ерозії та діяльністю ґрунтових розчинів та ґрунтових вод. Навіть у гумідних умовах ґрунти є ефективним фільтром на шляху атмо-техногенного потоку важких металів у природні води. Мінімальна інтенсивність водної міграції важких металів спостерігається у степових та лісостепових ландшафтах. Якщо атмосферна волога, що просочується за межі ґрунтової товщі, не досягає ґрунтових вод, техногенні речовини накопичуються нижче кореневого горизонту і виключаються з кругообігу та подальшої водної міграції, відбувається їхнє природне поховання.

У процесі водної ерозії, наприклад, при опадах зливового характеру, з ґрунту вимиваються в основному горбиста фракція і органіка — найбільш збагачені важкими металами ґрунтові компоненти, що є однією з причин нижчого вмісту важких металів у ґрунтах сільськогосподарських угідь у порівнянні з нерозораними ґрунтами.

У ґрунтах урбанізованих територій накопичення забруднюючих речовин відбувається у більшості випадків у шарі товщиною до 20 см.

«Відомо, що більшість важких металів належать до числа найбільш небезпечних для довкілля хімічних речовин (екотоксикантів), це пов'язано з інтенсивним розвитком промисловості та збільшенням викидів важких металів у довкілля, а також безпосередньо з фізіологічними і біохімічними властивостями цих речовин» [7].

«Важкі метали не лише впливають на стан ґрунту та сільськогосподарську продукцію, а й становлять загрозу для здоров'я людини. Важкі метали особливо небезпечні через здатність до біологічної акумуляції, яка полягає в тому, що малі дози протягом тривалого часу накопичуються в організмі створюють токсичну концентрацію і негативно впливають на здоров'я» [8].

Варто надати характеристику дії деяких ВМ на організм людини:

«Мідь (Cu) – мікроелемент, що бере участь у процесах окислення, посилює інтенсивність дихання, сприяє синтезу білків. В організмі людини Cu утворює комплекси з амінами і сполуками сірки, сприяє синтезу гемоглобіну крові, прискорює формування еритроцитів, відновлення кісткової тканини, посилює дію інсуліну, а також перешкоджає розпаданню глікогену в печінці. Надлишковий вміст міді в організмі людини супроводжує токсичне ураження печінки, нирок та головного мозку» [6].

«Цинк (Zn) – мікроелемент, що входить до складу ферментів та бере участь у білковому, вуглеводному, фосфорному обміні, у біосинтезі вітамінів та ростових речовин, РНК і хлорофілу. Нестача цинку в організмі людини має прояв в ушкодженні шкіри, ненормальності скелета, дефектах репродуктивних

органів, карликовості, втраті апетиту тощо. Велика концентрація цинку здатна викликати отруєння» [6].

«Свинець (*Pb*) – важкий метал, що має здатність впливати на центральну нервову систему, нирки, серцево-судинну систему, а також може викликати когнітивні порушення. Свинець внесено до списків пріоритетних забруднюючих речовин рядом міжнародних організацій як надзвичайно розповсюджений у зовнішньому середовищі токсикант. За умов впливу низьких, екологічно обумовлених рівнів свинцю можна не спостерігати жодних клінічних проявів типової свинцевої інтоксикації. Важливо зазначити, що низькі рівні свинцю у крові дитини в першу чергу здійснюють нейротоксичну дію на організм» [9].

«Ртуть (*Hg*) - єдиний метал, що залишається рідким за нормальних умов, вплив на здоров'я, пов'язаний з надлишковим надходженням парів ртуті до організму може призвести до загибелі» [6].

«Кадмій (*Cd*) – важкий метал, що здатний призупиняти ДНК-репараційні механізми, викликати стрес та порушення функції нирок, спричиняти «ітай-ітай хворобу» [6].

«Хром (*Cr*) одразу важливо зазначити, що хром (III) є біологічно важливим елементом, тоді як хром (VI) – високотоксичний канцероген. Тривалий вплив Cr (VI) на організм супроводжується порушенням метаболізму і функцій клітин дихальної, травної, видільної та імунної систем, що призводить до розвитку канцерогенних процесів. Варто зауважити, що шкідливі ефекти екотоксиканта здебільшого залежать від способу надходження й тривалості впливу» [10].

Тривале надходження важких металів до організму людини, зокрема через питну воду, харчові продукти чи повітря, призводить до хронічних інтоксикацій, мутагенних та канцерогенних ефектів, що є досить серйозною медико-екологічною проблемою.

2 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В ҐРУНТАХ ТА ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО ЇХНЬОГО ВМІСТУ

Визначення форм перебування важких металів у ґрунтах – це досить аналітично-складне завдання, оскільки деякі із них можуть перебувати в ґрунті у великому різноманітті мінеральних та немінеральних сполук.

Наразі здебільшого домінує хімічний, екстракційний метод вивчення форм та сполук важких металів. При цьому використовуються різні витяжки, за допомогою яких аналізується вміст тих чи інших сполук металів, включаючи обмінні, закріплені карбонатами, органічною речовиною, гідроксидами заліза та марганцю, і, нарешті, нерозчинний залишок, де мікроелементи орієнтовно входять до складу первинних мінералів. При цьому встановити характер зв'язку мікроелементів із конкретними сполуками заліза та марганцю методом хімічної екстракції не дозволяє. Зараз розгорнулося вивчення форм важких металів методами синхротронної рентгенівської техніки третього покоління, що дало добрі результати.

Застосування двох методів аналізу ВМ (хімічного фракціонування та синхротронної рентгенівської техніки), що доповнюють один одного, забезпечує глибше розуміння механізмів закріплення небезпечних поліютантів активними ґрунтовими.

Як правило, аналіз ґрунту на важкі метали показує, що забруднення переважно концентрується в радіусі 10 – 15 км від його джерела. Але якщо токсичні речовини потрапляють у високі шари атмосфери, вони можуть переноситися і на більш значні відстані.

«Зазначимо, на даний час найпоширенішим та найдоступнішим методом вважається саме атомна абсорбція. В Україні чинним є ДСТУ 4770.1-9:2007, згідно з яким відбувається визначення вмісту рухомих сполук важких металів у ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з величиною $pH = 4,8$ методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Проте вищезазначені методи є

досить коштовними й вимагають багато часу. Також ці методи не спроможні визначити саме токсичну частку забруднюючої речовини, оскільки відомо, що важкі метали можуть утворювати стійкі комплекси з природними сполуками, які, у свою чергу, не спричиняють токсичну дію на біосистеми» [11].

Усі ці недоліки нівельовані у біосенсорних аналітичних системах для визначення вмісту важких металів, у яких сенсорним елементом слугує бактеріальна біоломінесценція.

Тому все більшої популярності зазнає досить новий метод визначення токсичності ґрунтів – біосенсорний біоломінесцентний метод аналізу, який було використано авторами для оцінки рівня екотоксичності зразків ґрунту. Схематично метод може бути представлений наступним чином (рис. 3.1):

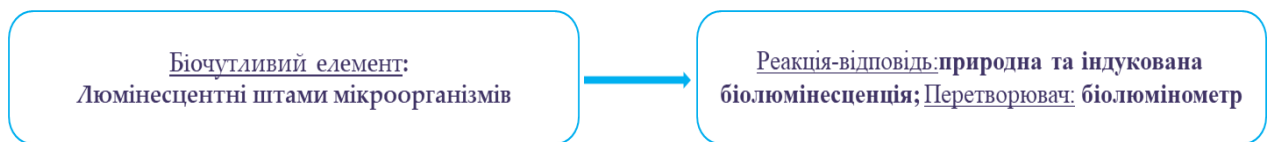


Рисунок 3.1. – Загальна схема біосенсорного біоломінесцентного методу аналізу

Зазначений метод визначення екотоксичності базується на реєстрації змін інтенсивності біоломінесценції бактеріальних штамів - компонентів сенсорного елемента під впливом токсичних речовин, присутніх у пробі що аналізується (водний екстракт), порівняно з контролем.

«Серед основних переваг клітинних біосенсорних аналізаторів виокремлюють: високу чутливість, здатність до визначення біотоксичної частки забруднюючої речовини, специфічність, швидкість реакції-відповіді, простоту використання, економність» [11].

Для обробки результатів, отриманих під час аналізів проводять різноманітні розрахунки:

Параметр екотоксичності (E) визначається за формулою 2.1 і відображає рівень інтегральної забрудненості об'єкта, зокрема важкими металами, і виражається як відношення інтенсивності біоломінесценції

бактерій при контакті дослідної проби (I_n) до інтенсивності біолюмінесценції бактерій при контакті з еталонною (контрольною) пробою (еталонні ґрунти/вода) (I_e):

$$E = \frac{I_n}{I_e}, \quad (2.1)$$

Діапазони ризику залежно від значення параметра екотоксичності (E):

- низький $(0,6 - 0,9) < E < (1,1 - 1,5)$;
- середній $(0,4 - 0,6) < E < (1,5 - 1,7)$;
- високий $(0,2 - 0,4) < E < (1,7 - 2,0)$.

«Індекс геоаккумуляції (I_{geo}) є геохімічним критерієм для виявлення забруднення важкими металами, визначається за формулою 2.2:

$$I_{geo} = \log_2(C_i/1,5 GB), \quad (2.2)$$

де C_i – вміст важкого металу у верхньому горизонті;

GB – вміст важкого металу у верхньому ґрунтовому горизонті;

GB – фоновий вміст (або кларк для ґрунтів)

Залежно від значення індекс геоаккумуляції виділяють:

$I_{geo} < 0$ – чисті ґрунти;

$0 < I_{geo} < 1$ – ґрунти від слабкого до середнього рівня забруднення;

$1 < I_{geo} < 2$ – ґрунти середнього рівня забруднення;

$2 < I_{geo} < 3$ ґрунти від середнього до сильного рівня забруднення;

$3 < I_{geo} < 4$ – ґрунти сильного рівня забруднення;

$5 < I_{geo}$ – ґрунти до дуже сильного рівня забруднення.

Коефіцієнт 1,5 використовується для виявлення незначного антропогенного впливу» [12].

«Коефіцієнт концентрації (*Enrichment Factor*) визначається для визначення природного або антропогенного походження металу важкого металу; при цьому урахується вміст будь-якого стабільного металу, розраховується за формулою 2.3:

$$EF = C_i / C_{Ti} / GB_i / GB_i), \quad (2.3)$$

«За значенням цього коефіцієнту видаляють 5 рівнів забруднення ґрунтів важким металом [13, 14]:

$EF < 2$ – мінімальний рівень забруднення;

EF від 2 до 5 – середній рівень забруднення;

EF від 5 до 20 – істотний рівень забруднення;

EF від 20 до 40 – дуже високий рівень забруднення.

EF понад 40 – надзвичайно високий рівень забруднення».

Індекс забруднення (Single Pollution Index) визначається за формулою 2.4:

$$PI = (PI_1 + PI_2 + PI_n)^{1/n}, \quad (2.4)$$

«Цей індекс вказує на сукупну акумуляцію важких металів; при його значенні нижче 1,0 відсутнє забруднення» [15, 16].

«Показник потенціального екологічного ризику (*Potential Ecological Risk*) розраховують за формулою 2.5:

$$PERI = \sum PI_i \cdot T_i, \quad (2.5)$$

де T_i – токсичності важких металів (для $Zn = 2$, $V = 2$, $Cr = 2$, $Co = 5$, $Pb = 5$, $Ni = 5$, $Cu = 5$ [17]).

«За значенням цього показника виділяються:

$PERI < 90$ – низький рівень екологічної безпеки;

PERI від 90 до 180 – середній рівень екологічної безпеки;

PERI від 180 до 360- високий екологічної безпеки;

PERI від 360 до 720 – дуже високий екологічної безпеки;

PERI >720 – надзвичайна високий екологічної безпеки».

Індекс забруднення (NPI - Nemerow Pollution Index) використовується для оцінки якості ґрунтів, оскільки враховує внесок не лише одного важкого металу, розрахунок індексу відбувається за формулою 2.6:

$$NPI = \sqrt{0,5 (PI_{max}^2 + PI_{lave}^2)}, \quad (2.6)$$

де PI_{max} – максимальне значення PI серед n важких металів.

«За значенням NPI виділяють 5 класів забруднення ґрунтів:

$NPI < 0,7$ – чисті ґрунти;

$0,7 \leq NPI < 1$ – граничний рівень забруднення;

$1,0 \leq NPI < 2,0$ – слабкий рівень забруднення;

$2,0 \leq NPI < 3,0$ – середній рівень забруднення;

$NPI > 3,0$ – сильний рівень забруднення» [17];

«Показником градації ґрунтів за ступенем забруднення може бути прийнято і кратність підвищення середнього вмісту важких металів у ґрунтах, виражену у вигляді коефіцієнта накопичення (KN) металів.

«Виділено такі групи ґрунтів за ступенем забруднення [18]:

1) $KN = 1-2$ – незабруднені ґрунти;

2) $KN = 2- 10$ – слабо забруднені ґрунти;

3) $KN = 10-30$ – середньо забруднені ґрунти;

4) $KN = 30-60$ – сильно забруднені ґрунти;

5) $KN > 60$ – дуже сильно забруднені ґрунти».

«Оскільки ґрунти досить часто є забрудненими одночасно декількома важкими металами, то для них розраховують сумарний показник забрудненості (Z_c) який відображає комплексний ефект впливу всієї групи металів і визначається за формулою 2.7» [18]:

$$Z_C = \left(\sum_{i=1}^n K_{ci} \right) - (n - 1), \quad (2.7)$$

де K_{ci} – коефіцієнт концентрації i -того важкого металу у пробі ґрунту;
 n – кількість врахованих важких металів.

Коефіцієнт концентрації (K_c) визначається за формулами 2,8 та 2.9:

$$K_c = C / C_\phi, \quad (2.8)$$

де C – реальний вміст визначеного важкого металу в ґрунті, мг/кг;

C_ϕ – фоновий вміст визначеного важкого в ґрунті, мг/кг.

$$K_c = C / \text{ГДК}, \quad (2.9)$$

де ГДК – гранично допустима концентрація важкого металу, мг/кг.

«Сумарний показник забрудненості може бути визначений як для всіх елементів однієї проби, так і для ділянки території за геохімічною вибіркою.

«Оцінка небезпечності забруднення ґрунтів комплексом важких металів за показником Z_C виконується за шкалою оцінювання, градація якої розроблена на підставі вивчення стану здоров'я населення, яке мешкає на 8 територіях з різними рівнями забрудненості ґрунтів:

$Z_C \leq 16$ – допустимий рівень забруднення ґрунтів;

$Z_C = 16 - 32$ – помірно небезпечний рівень забруднення ґрунтів;

$Z_C = 32 - 128$ – небезпечний рівень забруднення ґрунтів;

$Z_C > 128$ – дуже небезпечний рівень забруднення ґрунтів» [18].

Допоміжні дані (значення регіональних кларків, максимально допустимих рівнів, гранично допустимих концентрацій валового вмісту та рухомих форм ВМ, фонових показників вмісту важких металів у ґрунтовогому покриві) для розрахунків було використано з табл. 2.1 – 2.4.

«Для території України передбачений розподіл земель за ВМ для ведення сільськогосподарського виробництва [19]:

- землі придатні для сільськогосподарського виробництва без обмежень;
- землі придатні, за умови проведення заходів щодо зменшення надходження ВМ до продукції;
- непридатні, необхідна зміна специфіки використання».

Таблиця 2.1 – Гранично допустимі концентрації вмісту важких металів у ґрунтах, мг/кг [19]

ВМ	ГДК валових форм	ГДК рухових форм
<i>Cu</i>	100	3
<i>Ni</i>	50	4
<i>Co</i>	50	5
<i>Zn</i>	300	23
<i>Cd</i>	3	0,7
<i>Pb</i>	32	2
<i>Cr</i>	100	6

Таблиця 2.2 – Кларки і максимально допустимі рівні (МДР) вмісту важких металів в ґрунтах (за Н.А. Черних, В.Ф. Ладоніним, 1995)

Важкий метал	Кларк, мг/кг	МДР, мг/кг
Свинець	10	32
Стронцій	300	1000
Ртуть	0,02	2
Кадмій	0,5	3
Хром	75	100
Ванадій	100	-
Марганець	850	1400
Кобальт	8	50
Нікель	40	50
Мідь	20	100
Цинк	50	300
Селен	0,01	10

Таблиця 2.3 – Гранично допустимі концентрації важких металів в ґрунтовому покриві (за різними авторами), мг/кг

Важкий метал	ГДК валових форм		ГДК рухомих форм
	В.Г. Минєєв, 1990	Н.А. Черних, В.Ф. Ладонін, 1995	В.І. Кисель, 1997
<i>Cu</i>	100	100	3
<i>Ni</i>	-	50	4
<i>Co</i>	-	50	5
<i>Zn</i>	300	300	23
<i>Cd</i>	5	3	0,7
<i>Pb</i>	100	32	2
<i>Cr</i>	100	100	6

Таблиця 2.4 – «Регіональні кларки мікроелементів для ґрунтів степу України та кларки за О.П. Виноградовим, мг/кг ґрунту» [20]

Назва мікроелемента	Регіональні кларки для ґрунтів степу України	Кларки за О.П. Виноградовим
<i>Fe</i>	19974	3800
<i>Ti</i>	2631	4600
<i>Pb</i>	13	12
<i>Zn</i>	62	50
<i>Mn</i>	670	850
<i>Cu</i>	27	20
<i>Co</i>	16	8
<i>Mo</i>	3,8	2,6
<i>Sr</i>	142	300
<i>Cr</i>	85	200
<i>V</i>	68	100
<i>Ni</i>	25	40
<i>B</i>	23	12

3 ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТОВОМУ ПОКРИВІ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

«Регіони України мають значний земельно-ресурсний потенціал. Станом на 1 січня 2020 р. за даними Державного геокадастру України земельний фонд України складає 60,3 млн га, що становить близько 6 % території Європи. В Україні для господарського використання залучено понад 92 % всієї території держави» [21]. Генетично земельні ресурси України на 60 % складаються з чорноземів. Загалом, за даними великомасштабних досліджень 1957-1961 рр., ґрунтовий покрив України характеризується значною генетичною неоднорідністю, виокремлено понад 800 таксономічних одиниць ґрунтів», що частково відображають дані таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Структура ґрунтового покриття території України за інформаційними матеріалами Національної академії наук (НАН) України [21]

Типи ґрунтів	Площа, тис. га	
	с/г угіддя	рілля
Дерново-підзолистий	2511,2	2209,9
Дерновий оглеєний	1674,2	691,0
Дерново-карбонатний	146,9	137,8
Сірий лісовий	2620,5	1985,6
Темно-сірий опідзолений	1952,0	1867,7
Чорнозем:		
опідзолений	2200,1	2048,0
типовий	7346,8	6997,8
звичайний	9250,0	7962,9
південний	3257,5	2993,8
інші	2844,2	1579,6
Темно-каштановий солонцюватий	1194,5	1090,3
Каштановий солонцюватий	100,9	79,8
Бурозем кислий	307,3	85,0
Буроземно-підзолистий кислий оглеєний	105,8	44,8
Лучно-буроземний кислий оглеєний	104,4	39,3
Коричневий	29,1	7,6
Лучно-чорноземний і лучний	2996,0	935,7
Лучно-каштановий солонцюватий	94,0	112,7
Лучно-болотний і болотний	729,7	115,4
Торфовища	595,8	100,8
Інші	1564,9	1387,9

Відомо, ґрунтами, які характеризуються найвищою родючістю вважаються чорноземи, площа яких в Україні становить близько 25 млн га, або близько 8 % світових запасів. За вмістом гумусу у горизонті «Н» чорноземи класифікують на:

середньо-гумусні > 9 %

мало-гумусні 3-6 %

слабко-гумусні < 3 %

Стан ґрунтів залежить від генетичних характеристик, виду і характеру землекористування й відображається низкою показників, частина з яких характеризує родючість ґрунтів, інша частина є показниками екологічної безпеки. Інформація про стан родючості ґрунтів України отримується шляхом моніторингу ґрунтів, головною складовою якого є обстеження сільськогосподарських угідь.

Уповноваженою з моніторингу ґрунтового покриву є державна установа «Інститут охорони ґрунтів України» (ДУ «Держґрунтохорона»), яка виконує обстеження циклічно, кожні 5 років.

Згідно з даними [21] «детальні комплексні дослідження ґрунтів України на вміст рухомих сполук мікроелементів і важких металів проводилися упродовж 2011-2015 років. Результати обстежень надають інформацію про вміст рухомих форм ВМ майже в усіх регіонах України, окрім Донецької області та Криму» (табл. 3.2).

Відповідно до нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах (табл. 3.3) перевищень у жодному регіоні не спостерігається. Варто враховувати те, що дані моніторингу стосуються саме сільськогосподарських угідь. Ситуація з урбанізованими територіями інша.

У «Національній доповіді про стан навколишнього середовища України» 2021 року, у розділі про стан земельних ресурсів використовуються дані за 2011-2015 роки. Але у 2023 році було опубліковано результати наукових досліджень з моніторингу та обстеження сільськогосподарських угідь України», дані яких наведено на рис. 3.1 - 3.6.

Таблиця 3.2 – «Результати обстеження ґрунтів України на вміст рухомих сполук мікроелементів і важких металів (за 2011-2015 рр.)» [21]

№ з/п	Область	Вміст рухомих сполук мікроелементів, мг/кг ґрунту					Забруднення рухомими сполуками ВМ, мг/кг ґрунту		
		Площа, тис. га	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>	<i>Co</i>	Площа, тис. га	<i>Pb</i>	<i>Cd</i>
1	АР Крим	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Вінницька	1040,7	0,27	1,94	12,60	-	1040,7	1,29	0,09
3	Волинська	390,1	0,21	1,00	8,60	0,16	390,1	1,32	0,17
4	Дніпропетровська	1432,5	0,25	1,10	29,58	0,25	1432,5	2,18	0,32
5	Донецька	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Житомирська	845,8	0,15	0,42	18,70	0,20	845,8	1,43	0,18
7	Закарпатська	238,6	0,87	2,74	58,03	0,44	238,4	2,35	0,47
8	Запорізька	1326,1	0,38	0,59	19,90	0,34	1326,1	1,93	0,24
9	Івано-Франківська	290,6	0,48	0,80	10,80	0,28	291,1	1,19	0,14
10	Київська	764,9	0,11	0,45	7,49	0,23	568,3	0,91	0,13
11	Кіровоградська	1103,2	0,11	0,23	6,40	0,24	1103,2	0,98	0,13
12	Луганська	772,4	0,26	1,28	19,70	0,84	-	-	-
13	Львівська	497,6	1,40	1,60	21,40	0,53	497,7	2,50	0,25
14	Миколаївська	1473,2	0,26	0,46	10,30	0,59	807,9	2,11	0,23
15	Одеська	1155,0	0,27	0,43	25,20	0,47	1155,0	2,17	0,20
16	Полтавська	763,1	0,19	0,45	41,29	0,52	763,1	1,45	0,27
17	Рівненська	496,1	0,27	0,84	30,80	0,63	496,1	1,90	0,20
18	Сумська	785,0	0,15	0,50	17,00	0,20	785,0	1,20	0,17
19	Тернопільська	497,7	0,23	0,90	14,20	0,41	497,7	1,69	0,21
20	Харківська	1178,8	0,77	1,02	18,40	0,89	1178,8	2,57	0,19
21	Херсонська	1300,1	0,36	0,83	8,77	0,27	1300,1	1,36	0,16
22	Хмельницька	953,5	0,22	0,55	18,50	0,29	953,5	1,32	0,14
23	Черкаська	805,3	0,19	0,70	9,70	0,20	805,3	0,80	0,10
24	Чернівецька	236,0	0,56	0,59	19,40	0,80	234,1	1,89	0,21
25	Чернігівська	523,9	0,10	0,58	26,98	0,12	585,8	1,51	0,14
Усього по Україні		18870,2	0,32	0,80	18,20	0,39	17296,3	1,70	0,19

Варто зазначити, що в умовах сучасної воєнної агресії на території України дані щодо просторово-часового розподілу вмісту рухомих форм сполук важких металів у ґрунтах можуть суттєво відрізнятися, особливо на ділянках, розташованих у межах зон активних або нещодавніх бойових дій.

Таблиця 3. 3 – «Нормативи гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, що затверджені постановою Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2021 р. № 1325» [22]

Найменування речовини	Гранично допустима концентрація (ГДК), мг/кг ґрунту з урахуванням регіонального фону (кларка)	
	валовий вміст	рухома форма
Ванадій	150	-
Вольфрам	-	10
Кадмій	3	0,7
Кобальт	-	5
Марганець	1500	140
Миш'як	2	
Мідь	-	3
Молибден	-	10
Нікель	-	4
Ртуть	2,1	-
Свинець	32	6
Сурма	4,5	
Хром	-	6
Хром шестивалентний	0,05	-
Цинк	-	23

Зауважимо, що у вищезазначених нормативних документах під терміном «рухомі форми важких металів» маються на увазі не лише водорозчинні форми, які безпосередньо доступні для поглинання біотою, а й ті, що екстрагуються за допомогою амонійно-ацетатного буферного розчину.

Метод екстракції амонійно-ацетатним буфером вважається стандартизованим підходом для визначення екологічно значущих форм ВМ у ґрунтах та широко застосовується у ґрунтознавстві, агрохімії та екотоксикології. Порівняно з водною витяжкою, цей метод виявляє більший спектр мобільних форм, включаючи обмінно- та слабозв'язані метали, що

забезпечує більш повну оцінку потенційного ризику біоаккумуляції та токсичної дії.



Рисунок 3.1 – Вміст рухомих сполук кадмію у ґрунтах регіонів України [21]



Рисунок 3.2 – Вміст рухомих сполук свинцю у ґрунтах регіонів України [21]



Рисунок 3.3 – Вміст рухомих сполук кадмію у ґрунтах регіонів України [21]

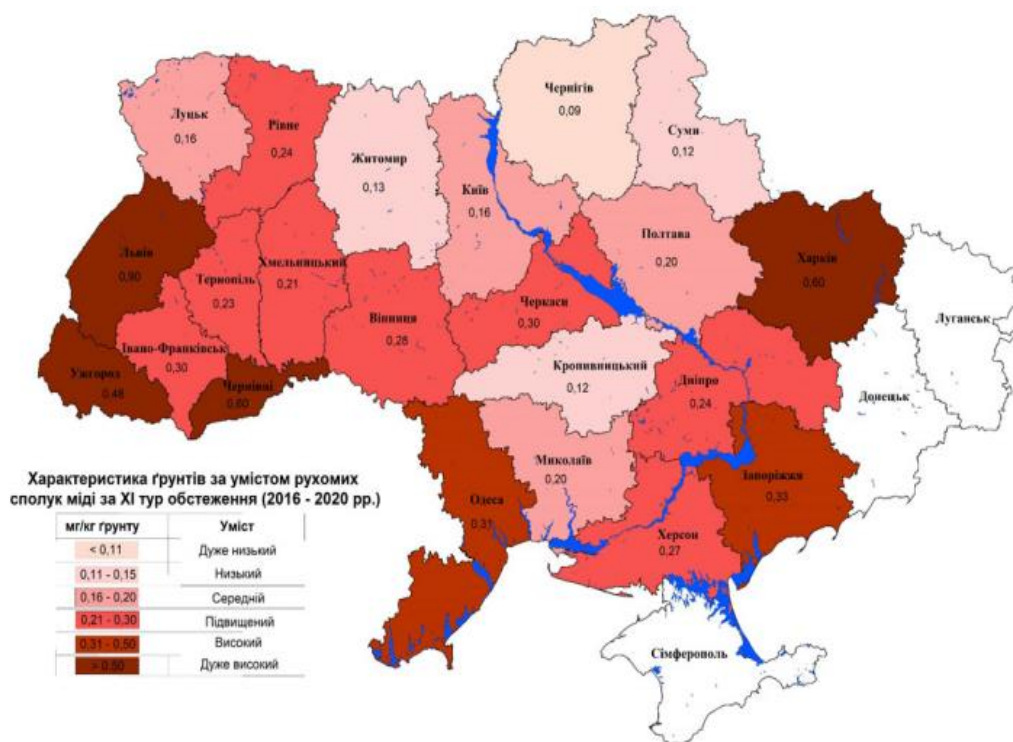


Рисунок 3.4 – Вміст рухомих сполук міді у ґрунтах регіонів України [21]

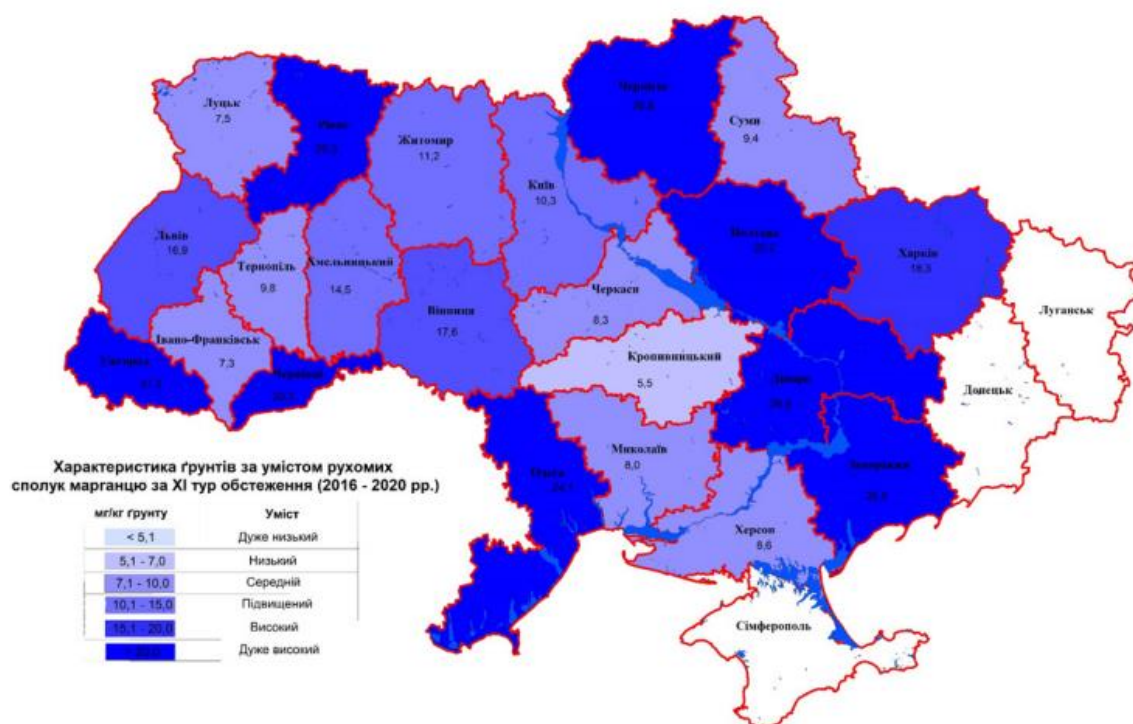


Рисунок 3.5 – Вміст рухомих сполук марганцю у ґрунтах регіонів України [21]



Рисунок 3.6 – Вміст рухомих сполук кобальту у ґрунтах України [21]

Дані щодо розподілу й вмісту інших ВМ та деяких мікроелементів наведені на рис. 3.7- 3.11) [22].

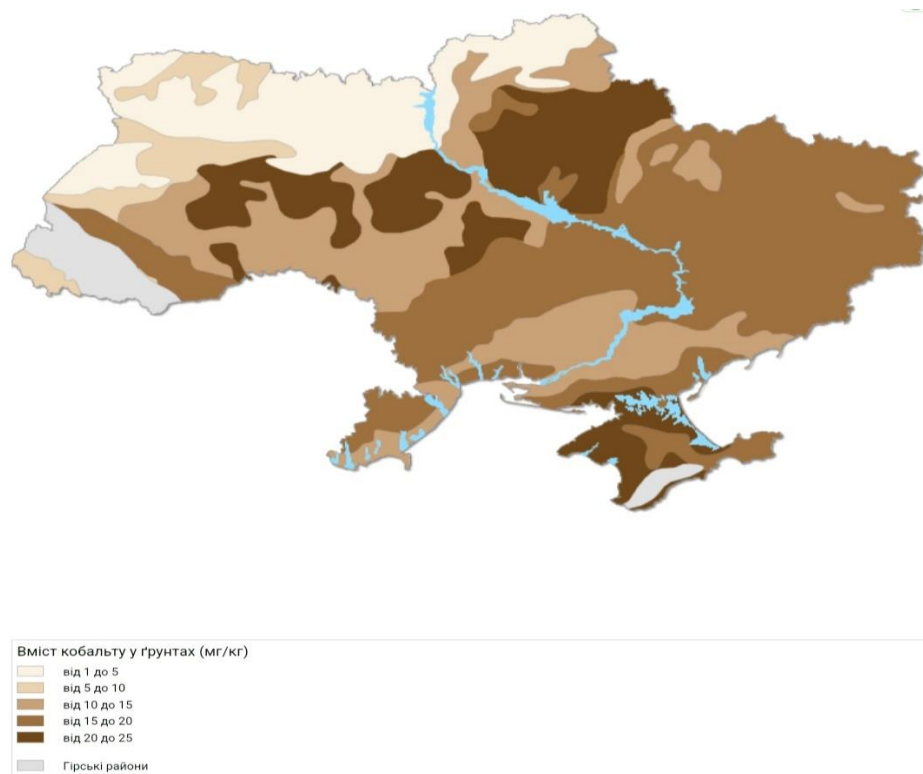


Рисунок 3.7 – Вміст кобальту у ґрунтах регіонів України [23]

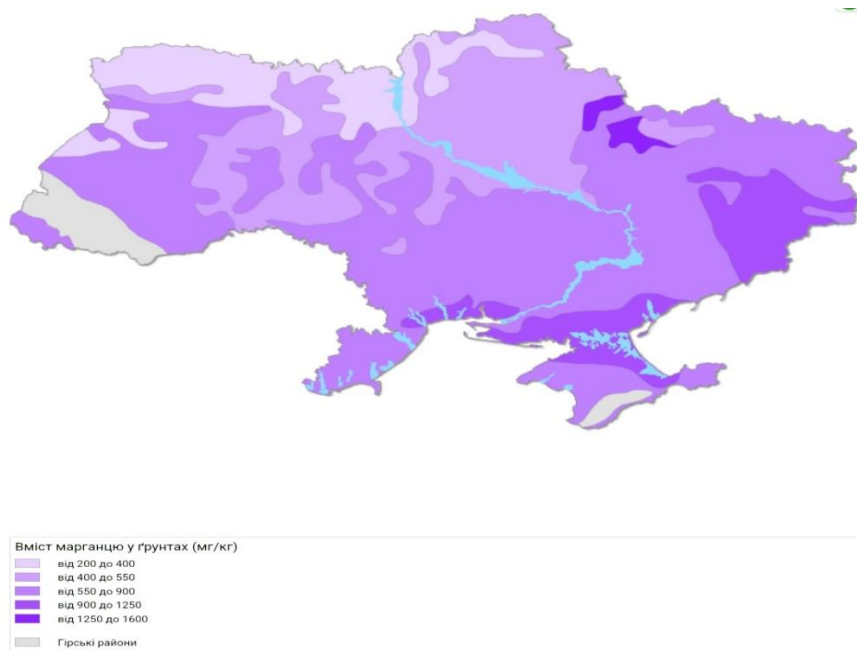


Рисунок 3.8 – Вміст марганцю у ґрунтах регіонів України [23]



Вміст міді у ґрунтах (мг/кг)

від 0 до 5
від 5 до 20
від 20 до 30
від 30 до 50
від 50 до 80
Гірські райони

Рисунок 3.9 – Вміст міді у ґрунтах регіонів України [23]



Вміст цинку у ґрунтах (мг/кг)

від 10 до 30
від 30 до 60
від 60 до 90
від 90 до 120
Гірські райони

Рисунок 3.10 – Вміст цинку у ґрунтах регіонів України [23]



Вміст молібдену у ґрунтах (мг/кг)

	від 0,4 до 0,8
	від 0,8 до 1,2
	від 1,2 до 1,6
	від 1,6 до 2,4
	від 2,4 до 3,2
	Гірські райони

Рисунок 3.11 – Вміст молібдену у ґрунтах регіонів України [23]

«Вітчизняні науковці класифікують ґрунти за ступенем забруднення важкими металами, класифікацію проводять відповідно до значень ГДК та за фоновим вмістом у ґрунті. За ступенем забруднення ґрунти на території України поділяють на сильно-забруднені, середньо-забруднені, слабо-забруднені» [19].

«Здебільшого наразі домінує підхід визначення рухомих форм ВМ, але деякі дослідження свідчать про те, що «доцільно використовувати для загальної характеристики стану ґрунтів і їхньої потенційної небезпечності показники валового вмісту важких металів, адже вміст рухомих форм буде лише зумовлювати рівень їхньої токсичності» [19].

4 ОСОБЛИВОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ГРУНТОВОГО ПОКРИВУ НА ТЕРИТОРІЇ ОДЕСИ

«Територія міста Одеса характеризується досить високою різноманітністю геохімічних умов, наявністю розвиненої промислової та агропромислової інфраструктури, напруженої транспортної мережі тощо. В умовах процесу інтенсивної урбанізації ґрунти зазнають дії антропогенного впливу, у результаті якого відбувається зміна їхніх фізико-хімічних властивостей та підвищення концентрацій небезпечних речовин» [24].

«Зараз науковцями активно вивчаються процеси накопичення, трансформації та динаміки вмісту важких металів у міських ґрунтах різних функціональних зон» [25].

«Відбувається поступове створення просторових баз даних геохімічних показників міських ґрунтів, що є досить ефективним інструментом моніторингу та оцінки екологічного стану урбанізованих територій» [26].

За дослідженнями [27] «найбільш забрудненими є ґрунти промислової зони (0,48-1,65 мг/кг), де вміст рухомих форм *Cd* перевищує ГДК на 70 % території. В межах транспортної зони найбільш забрудненими є вул. Балківська – 1,00 мг/кг, вул. Середньофонтанська – 0,67 мг/кг, вул. Канатна – 0,6 мг/кг. В межах селітебної та рекреаційної зон найбільш забрудненими є проспект Шевченка (0,87 мг/кг), Дюківський сад (1,40 мг/кг), Михайлівський парк (0,92 мг/кг) в яких перевищення нормативів складає приблизно 4 %» [27].

«Вміст рухомих форм свинцю у міських ґрунтах різних функціональних зон має дуже високу варіативність: від 1,52 мг/кг до 201,72 мг/кг. Серед найбільш забруднених є ґрунти промислової зони (вул. Чорноморського козацтва – 10,50 мг/кг; район Лузанівка – 149,27 мг/кг, де приблизно 60 % території за вмістом рухомого свинцю перевищують гранично допустиму концентрацію, яка складає 6 мг/кг» [27].

«Високий вміст *Pb* також зафіксовано й в інших функціональних зонах міста. В межах інтенсивного впливу транспорту, 80 % досліджуваної території мають значення, що переважає ГДК. Рівень забруднення територій парків залежить від відстані до автомагістралей» [27].

Як зазначено в роботі [27], «вміст рухомих форм цинку, як і свинцю у ґрунтах міста змінюється у дуже широкому діапазоні: від 1,45 мг/кг до 240,00 мг/кг (промислова зона міста). За вмістом рухомого цинку 50 % території міста перевищують нормативи. Найбільшим забрудненням характеризуються промислова зона (8,73240,0 мг/кг), транспортна (3,24148,0 мг/кг) та житловий район (6,22194,0 мг/кг), це обумовлено впливом промислового та транспортного навантаження. Концентрація кобальту у ґрунтах Одеси змінюється у широкому діапазоні: від 0,12 мг/кг до 22,15 мг/кг (промислова зона міста). Найбільш забрудненими територіями за вмістом кобальту є: Лузанівка (22,15 мг/кг), що перевищує його фоновий вміст у більш ніж 50 разів та ГДК у 4 рази та вул. Балківська (9,95 мг/кг), що складає 2 ГДК».

За даними [27], «виокремлюються ґрунти найбільш забруднені сполуками міді: вул. Люстдорфська дорога – 16,65 мг/кг; вул. Балківська – 13,38 мг/кг; Адміральський проспект – 9,20 мг/кг, що значно перевищує ГДК у 3-5 разів».

«Ситуація з марганцем є досить схожою, але не перевищує ГДК, вміст марганцю у ґрунтах міста коливається в межах від 39,19 мг/кг до 113,68 мг/кг. Найвищі значення було фіксовано: вул. Люстдорфська дорога – 61,30 мг/кг; вул. Грушевського – 52,27 мг/кг; Південна дорога – 47,30 мг/кг» [27].

Окрім загальної ситуації містом важливою складовою є дослідження вмісту ВМ у парках, де жителі міста проводять значну частину часу з метою покращення фізичного та психологічного здоров'я.

За даними детального обстеження, що наведені у монографії «Ґрунти міста Одеси» (автори: Хохрякова А. І., Михайлюк В. І.) [28] щодо вмісту ВМ у ґрунтах окремих парків та скверів Одеської промислово-міської агломерації нами було проведено розрахунок індексу геоаккумуляції (табл. 4.1). Дані

розрахунків для основних функціональних зон урбанізованої території м. Одеса [27] наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.1 – Вміст важких металів та значення індексу геоакумуляції (*Igeo*) для ґрунтів на ділянках у межах окремих парків і скверів Одеської промислово-міської агломерації

№ ділянки	Вміст важкого металу, мг/кг ґрунту / значення <i>Igeo</i>			Рівень забруднення ґрунтів за значенням <i>Igeo</i>
	<i>Pb/ Igeo</i>	<i>Zn/ Igeo</i>	<i>Cu/ Igeo</i>	
1	4,54/-2,10	241,60/1,38	0,18/-7,81	чисті (<i>Pb, Zn</i>), середній (<i>Zn</i>)
2	6,89/-1,50	13,22/-2,81	0,92/-5,46	чисті (<i>Pb, Zn, Cu</i>)
3	6,14/-1,67	15,02/-2,63	1,07/-5,24	чисті (<i>Pb, Zn, Cu</i>)
4	50,27/1,37	37,90/-1,30	1,32/-4,94	середній (<i>Pb</i>), чисті (<i>Zn, Cu</i>)
5	37,79/0,95	18,38/-2,34	0,93/-5,44	слабкий-середній (<i>Pb</i>), чисті (<i>Zn, Cu</i>)
6	2,66/-2,87	0,89/-6,71	1,36/-4,90	чисті (<i>Pb, Zn, Cu</i>)
7	4,53/-2,11	35,58/-1,39	0,49/-6,37	чисті (<i>Pb, Zn, Cu</i>)
8	9,74/-1,00	87,54/-0,09	1,33/-4,93	чисті (<i>Pb, Zn, Cu</i>)
9	48,32/1,31	25,10/-1,89	1,37/-4,89	середній (<i>Pb</i>), чисті (<i>Zn, Cu</i>)
10	38,90/1,00	38,29/-1,28	1,58/-4,68	слабкий-середній (<i>Pb</i>), чисті (<i>Zn, Cu</i>)

Примітка: 1 – схили біля санаторію імені Чкалова; 2 – сквер біля Одеської обласної ради (під деревами); 3 – сквер біля Одеської обласної ради (трава, газон); 4 – «Дюківський сад» (Розкидайлівська, 69); 5 – парк «Дюківський сад»; 6 – меморіал 411 берегової батареї; 7 – парк «Аеропортівський»; 8 – парк Перемоги; 9 – парк Горького; 10 – парк Шевченка.

Згідно з даними [28], наведеними у табл. 4.1 «перевищення значень ГДК не спостерігаються лише для *Cu*. Середні значення вмісту важких металів свідчать про те, що майже в усіх парках фіксується підвищення їхнього вмісту».

«За середнім значенням вмісту *Zn* біля санаторію Чкалова фіксується перевищення значення ГДК у 6 разів. Найвищі значення *Pb* спостерігаються у парку «Дюківський сад» (Розкидайлівська, 69), що перевищує ГДК у 8 разів. Перевищення (незначне) вмісту кадмію наявне в ґрунтових пробах з парків ім. Горького та імені Шевченка. Найвище середнє значення концентрації міді, але без перевищення ГДК, виявлено у парк імені Шевченка» [28].

Таблиця 4.2 – Вміст важких металів у ґрунтах різних функціональних зон та значення індексу геоаккумуляції (*Igeo*)

Назва функціональної зони міста	Вміст важкого металу, мг/кг ґрунту / значення <i>Igeo</i>			Рівень забруднення ґрунтів за значенням <i>Igeo</i>
	<i>Pb/Igeo</i>	<i>Zn/Igeo</i>	<i>Cu/Igeo</i>	
Транспортна	20,16/0,05	24,60/-1,92	11,02/-1,88	слабкий-середній (<i>Pb</i>), чисті (<i>Zn, Cu</i>)
Рекреаційна	18,19/-0,10	23,07/-2,01	8,02/-2,34	чисті (<i>Pb, Zn, Cu</i>)
Промислова	61,16/1,65	82,66/-0,17	12,58/-1,69	слабкий-середній (<i>Pb</i>), чисті (<i>Zn, Cu</i>)
Селітебна	20,50/0,07	58,00/-0,68	1,16/-5,13	слабкий-середній (<i>Pb</i>), чисті (<i>Zn, Cu</i>)

Вищенаведені дані щодо вмісту ВМ у ґрунтах окремих паркових зонах Одеси, доповнені *результатами власних досліджень*. Проби ґрунту у парках Перемоги та імені Шевченка було відібрано згідно з вимогами ДСТУ 4287:2004. Відбирання проб виконувалося буром. Найбільш розповсюдженим методом відбору проб є метод «конверту», який було використано під час дослідження. Розміри «конверту»: ширина - 100 м, довжина – 300 м. Глибина відбору проб – 0-25 см (у межах орного шару).

Відібрані проби представлені чорноземом південним, мало гумусним, важко суглинковим на лесі (Додаток А).

З п'яти точкових проб по кожному парку було сформовано загальні проби (парк Перемоги – 3 загальні проби, парк Шевченка – 2 загальні проби). Відстань між точками відбору проб визначено за допомогою застосування

«Distance & Land Area Measure». Дослідження вмісту ВМ у ґрунтах (2 зразки) методом водної витяжки (згідно з Методикою визначення вмісту рухомих форм важких металів у водній витяжці ґрунту Код: СОП 71.12-42025478-004:2025) проводилися у лабораторії моніторингу вод Південного регіону Відокремленого підрозділу Басейнового управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю «Причорноморський центр водних ресурсів та ґрунтів» (Додаток Б), 3 зразки було аналізовано біосенсорним біолюмінесцентним методом (визначення екотоксичності) в Інституті біоколоїдної хімії імені Ф.Д. Овчаренка Національної академії наук України (додаток В). Схема та координати відбору проб ґрунту для водної витяжки наведені на рис. 4.1 – 4.2 та табл. 4.2 – 4.4.

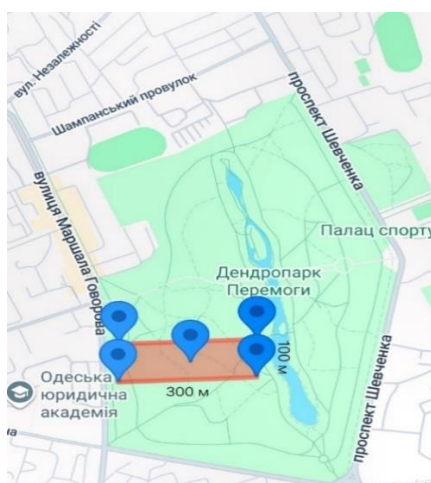


Рисунок 4.1 – Схема відбору проб ґрунту для водної витяжки в парку Перемоги

Таблиця 4.3 – Координати відбору проб ґрунту для водної витяжки в парку Перемоги

Загальна проба №1	
№	Координати, °
Точка 1	46.4439,30.75047
Точка 2	46.443,30.75044
Точка 3	46.44401,30.75437
Точка 4	46.44312,30.75437
Точка 5	46.44346,30.75249

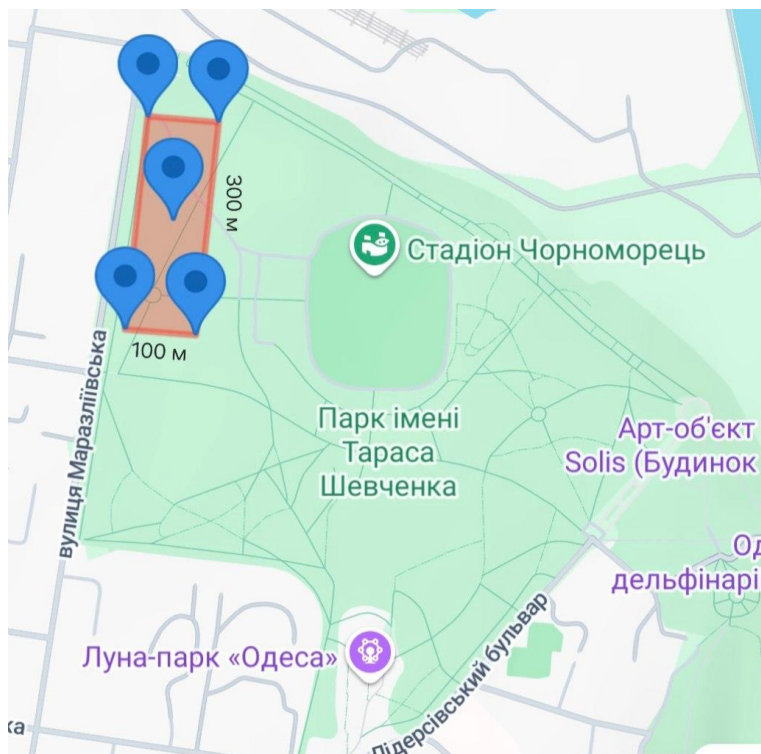


Рисунок 4.2 – Схема відбору проб ґрунту для водної витяжки в парку імені Шевченка

Таблиця 4.4 – Координати відбору проб ґрунту для водної витяжки в парку імені Шевченка

Загальна проба №2	
№	Координати, °
Точка 1	46.4826,30.75108
Точка 2	46.48257,30.75237
Точка 3	46.47991,30.75085
Точка 4	46.47988,30.75214
Точка 5	46.48131,30.75163

Після відбору проби ґрунту в лабораторії розсипають на папері й розминають товкачиком великі грудки. Потім очищають від різноманітних включень: вибирають корені рослин, каміння, друзки, скло та інше. Ґрунт розтирають у ступці товкачиком і просівають через сито з діаметром отворів 1 мм.

Схема та координати відбору проб ґрунту для біосенсорного аналізу наведені на рис. 4.3 – 4.4 та табл. 4.5 – 4.6.

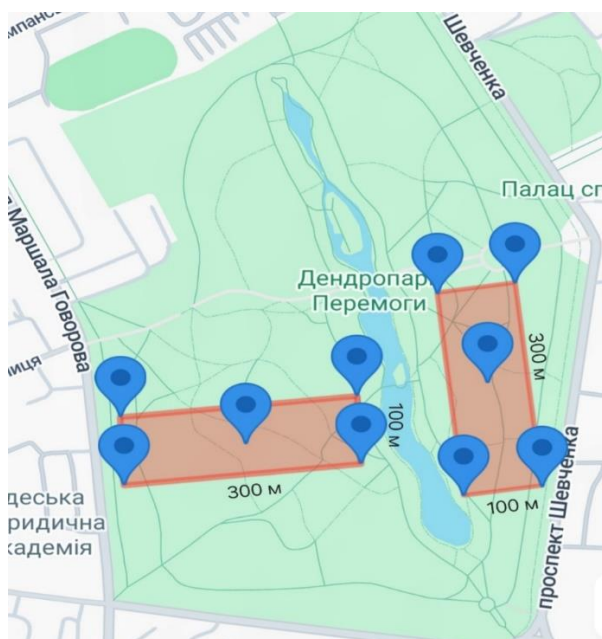


Рисунок 4.3 – Схема відбору проб ґрунту для біосенсорного аналізу в парку Перемоги

Таблиця 4.5 – Координати відбору проб ґрунту для біосенсорного аналізу в парку Перемоги

Загальна проба №1	
№	Координати, °
Точка 1	46.4439,30.75047
Точка 2	46.443,30.75044
Точка 3	46.44401,30.75437
Точка 4	46.44312,30.75437
Точка 5	46.44346,30.75249
Загальна проба №2	
Точка 1	46.4453,30.75582
Точка 2	46.44539,30.75711
Точка 3	46.44262,30.75601
Точка 4	46.44268,30.75731
Точка 5	46.44409,30.75654

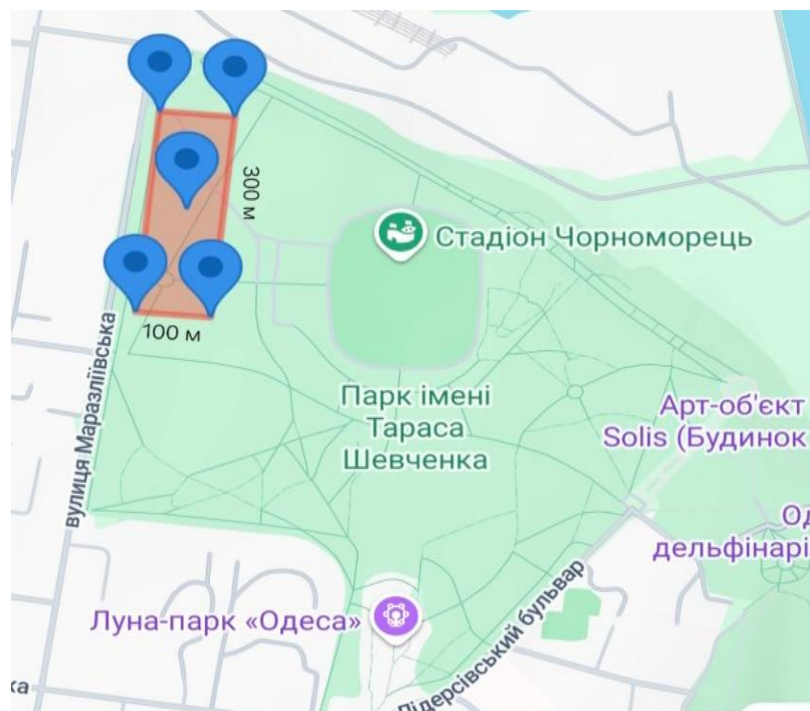


Рисунок 4.4 – Схема відбору проб ґрунту для біосенсорного аналізу в парку імені Шевченка

Таблиця 4.6 – Координати відбору проб ґрунту для біосенсорного аналізу в парку імені Шевченка

Загальна проба №2	
№	Координати, °
Точка 1	46.4826,30.75108
Точка 2	46.48257,30.75237
Точка 3	46.47991,30.75085
Точка 4	46.47988,30.75214
Точка 5	46.48131,30.75163

Типи сенсорних елементів (СЕ), використані для аналізу зразків ґрунту, і характер їх чутливості до вмісту екотоксичного компонента:

CE1 – біосенсорний елемент на основі штаму *Vibrio fischeri* (природна люмінесценція);

CE2 – біосенсорний елемент на основі штаму *Vibrio harveyi* (природна люмінесценція);

СЕЗ – біосенсорний елемент на основі штаму *Photobacterium phosphoreum* (природна люмінесценція).

Використані штами характеризуються здатністю до гасіння природної люмінесценції у присутності забруднювача, що визначається.

Біолюмінесцентні бактерії містять фермент люциферазу, який здійснює ефективну трансформацію енергії хімічних зв'язків життєво необхідних метаболітів у світловий сигнал на рівні, придатному для вимірювань.

Дослідження проводилися у Інституті біоколоїдної хімії імені Ф.Д. Овчаренка НАН України.

Відгук сенсорних елементів (інтенсивність біолюмінесценції) на інтегральну дію токсикантів реєструється біолюмінометром (*Triathler-Luminometer*) фірми *Hidex* (Фінляндія) (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – Біолюмінометр (*Triathler-Luminometer*) фірми *Hidex* (Фінляндія)

Зазначимо, що *Triathler-Luminometer* (біолюмінометр) не містить випромінювачів в ультрафіолетовій та інфрачервоній областях спектра, а також джерел радіоактивності. Прилад призначений для вимірювання

природного випромінювання (біоломінесценції) мікроорганізмів у видимій частині спектра.

Сенсорні елементи (*CE1, CE2, CE3*), що використані у біосенсорному біоломінесцентному аналізі, зберігаються у ліофілізованому стані. Штами люмінесцентних мікроорганізмів – основа сенсорних елементів – задепоновані у депозитарії Державного науково-контрольного інституту біотехнології і штамів мікроорганізмів (ДНКІБШМ), м. Київ (Україна).

Регідрація сенсорного елемента проводиться миттєво у розчині, що аналізується.

Час вимірювання складає 2-3 хвилини за умов використання будь-якого із зазначених сенсорних елементів.

Біосенсорний біоломінесцентний аналіз зразків ґрунту паркових зон м. Одеса (Україна):

Проведено дослідження 3 зразків ґрунту, відібраних на території паркових зон м. Одеса:

- 1) парк імені Т.Г. Шевченка;
- 2) парк Перемоги, точка 1;
3. Парк Перемоги точка 2.

Глибина відбору проб ґрунту становила 0-25 см.

Ґрунт – чорнозем південний мало гумусний важко суглинковий на лесі.

Отримані зразки ґрунту зберігали за температури +(4-8) °С.

Еталонною пробою (контроль) на вміст забруднюючих речовин слугував природний дерново-підзолистий ґрунт (Пуща-Водиця, Україна).

Для біосенсорного біоломінесцентного аналізу екотоксичності отримували водні витяжки еталонного і дослідних зразків ґрунту.

Проводили екстракцію дистильованою водою (співвідношення 1:20): наважку ґрунту вагою 5 г поміщали в конічну колбу на 250 мл, додавали 100 мл води дистильованої після чого колбу поміщали у термостат та витримували протягом 1 год за температури 30°C в при постійному перемішуванні (шейкер, ~50 обертів за хвилину). Після цього колби відстоювали і охолоджували до

кімнатної температури (22-25 °С), а отриманий екстракт безпосередньо використовували для аналізу.

Проводили регідратацію сенсорного елемента в отриманому водному екстракті і реєстрували відгук кожного сенсорного елемента за допомогою біолюмінометра (рис. 4.5) *Hidex* (Фінляндія).

Отримані показники інтенсивності люмінесценції (*CPS* - кількість фотонів за секунду) було порівняно із показниками інтенсивності люмінесценції еталонної проби згідно з формулою 2.1, що наведена вище.

За результатами обчисленого параметра *E* (відн.од.) сформовано висновок щодо рівня екотоксичності дослідних проб.

Результати оцінки рівня екотоксичності зразків ґрунту паркових зон Одеської промислово-міської агломерації (Україна) з використанням експериментального біосенсорного біолюмінесцентного аналізу наведені в табл. 4.7 та на рис. 4.6.

Таблиця 4.7 – Оцінка рівня екотоксичності зразків ґрунту паркових зон міста Одеса (Україна) за результатами експериментального біосенсорного біолюмінесцентного аналізу

Реєстр зразків		Експериментальний біосенсорний аналіз екотоксичності (<i>E</i> , відн.од.)			
№ варіанту	Зміст варіанту	<i>CE1</i>	<i>CE2</i>	<i>CE3</i>	Рівень екотоксичності
1	Парк імені Т.Г. Шевченка	1,24	1,34	1,27	низький
2	Парк Перемоги т.1	1,52	1,33	1,42	низький
3	Парк Перемоги т.2	1,40	1,45	1,47	низький

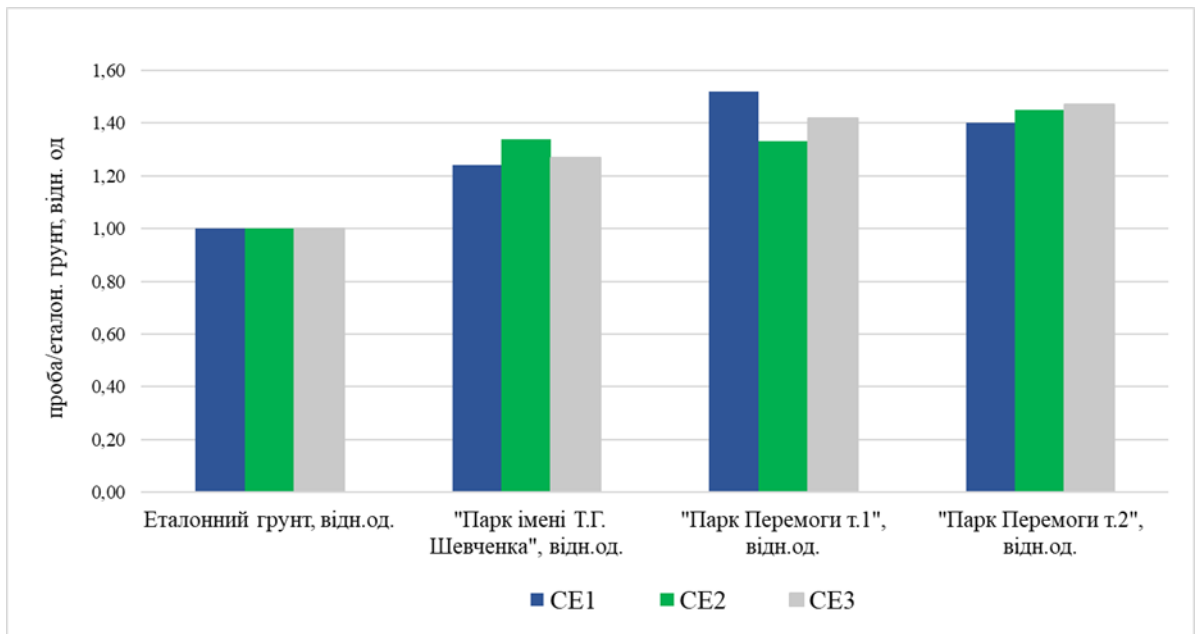


Рисунок 4.6 – Порівняльний аналіз рівня екотоксичності зразків ґрунту паркових зон м. Одеса (Україна) за результатами експериментального біосенсорного біоломінесцентного аналізу

За результатами біосенсорного біоломінесцентного аналізу отримано такі висновки:

- 1) не зафіксовано вираженого інгібування рівня люмінесценції мікробних клітин – основи сенсорних елементів, що свідчить про відсутність речовин, токсичних для ґрунтових мікроорганізмів;
- 2) зафіксований незначний рівень стимуляції люмінесценції мікробних клітин – основи сенсорних елементів може бути пов'язаний із впливом підвищеного вмісту органічної компоненти у зразках ґрунту;
- 3) за результатами експериментального біосенсорного біоломінесцентного аналізу проаналізовані зразки ґрунту паркових зон м. Одеса (Україна) віднесені до низького рівня екотоксичності.

Результати аналізу вмісту іонів важких металів у ґрунті методом водної витяжки наведено у табл. 4.8. Загалом метод водної витяжки є одним з найпростіших та найпоширеніших способів оцінки мобільної (водорозчинної) форми важких у ґрунті. Цей метод досить широко застосовується в екологічному моніторингу, оскільки дозволяє оцінити ступінь екологічної

небезпеки ґрунтового забруднення та біодоступність важких металів для рослин, мікроорганізмів і людей, але, варто зазначити, що цей метод не дає повної інформації щодо загального забруднення, хоча є цінним для екотоксикологічної оцінки та оцінки екологічного ризику. Метод передбачає визначення лише тієї фракції важких металів, яка є мобільною та потенційно доступною для поглинання рослинами (водорозчинні, рухомі форми). Безумовно, що результати попередніх досліджень [28] відрізняються від даних у табл. 4.8. Це зумовлено відмінностями у принципах цих методів. Метод атомно-абсорбційної спектрофотометрії є більш точним, адже передбачає повне розчинення ґрунтового зразка за допомогою сильних кислот, а тому визначає загальний вміст важких металів, включаючи ті, що зв'язані з мінеральною матрицею ґрунту.

Таблиця 4.8 – Результати аналізу водних витяжок із ґрунтів окремих парків Одеси

Місце відбору проби	Наважка проби ґрунту	Одинці вимірювання	<i>Cu</i>	<i>Cd</i>	<i>Zn</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Hg</i>
Парк Шевченка	40 г	мг/дм ³	0,020	0,001	0,000	0,000	0,020	0,000
		мг/кг	0,100	0,005	0,000	0,000	0,100	0,000
Парк Перемоги	40 г	мг/дм ³	0,015	0,004	0,000	0,000	0,012	0,000
		мг/кг	0,075	0,002	0,000	0,000	0,060	0,000

Аналіз вмісту рухомих форм важких металів виконувався згідно з «Методикою визначення вмісту рухомих форм важких металів у водній витяжці ґрунту (СОП 71.12-42025478-004:2025)». У цій СОП викладена методика визначення вмісту рухомих сполук ВМ у водній витяжці із ґрунту спектрофотометричним методом та перерахунку на вміст у ґрунті. Методика застосовується до ґрунтів природного та порушеного складу. Значення вмісту водорозчинних форм важких металів у ґрунтах досить низькі порівняно з іншими формами та наразі, в чинному законодавстві відсутні нормативи щодо вмісту ВМ у водній витяжці ґрунту, які є потенційно небезпечними для живих організмів, адже здатні до швидкої міграції.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень сформовано такі висновки:

1. Забруднення ґрунтів важкими металами становить небезпеку, зумовлену кумулятивною природою цих елементів, їхньою хімічною інертністю та здатністю до довготривалого збереження в ґрунтовому середовищі.

2. Серед основних антропогенних джерел надходження важких металів у ґрунти є викиди металургійних, хімічних і машинобудівних підприємств, автотранспорт.

3. Акумуляція важких металів у ґрунті призводить до порушення фізико-хімічних властивостей ґрунтового середовища, зниження біологічної активності, пригнічення ґрунтової мікробіоти, зменшення родючості та впливу на трофічні ланцюги.

4. Згідно з даними детальних комплексних досліджень моніторингу ґрунтів сільськогосподарських угідь України на вміст рухомих сполук мікроелементів і важких металів перевищень у жодному регіоні не спостерігається. Зауважимо, що умовах війни фактичні дані (для ділянок у зоні бойових дій) можуть суттєво відрізнитися. Це обумовлює важливість продовження досліджень не тільки для урбанізованих територій, а й для агроєкосистем.

5. Підвищений вміст важких металів у ґрунтах зафіксовано на ділянках промислової зони та на автомагістралях з інтенсивним рухом автотранспортних засобів.

6. На фоні цих техногенно-напружених частин урбанізованої території важливе місце займають паркові зони та сквери, але й за даними на цих територіях спостерігаються перевищення концентрацій окремих важких металів порівняно зі значеннями гранично допустимих концентрацій, за винятком вмісту міді. Проте навіть на ділянках промислової зони й

автомагістралей виявлено ґрунти від слабкого до середнього рівня забруднення та чисті ґрунти (за індексом геоаккумуляції).

Для ґрунтів на ділянках у межах окремих парків та скверів міста Одеса, прилеглих до техногенно-напружених зон, також зафіксовано ґрунти від слабкого до середнього рівня забруднення, на інших ділянках – чисті ґрунти.

7. За результатами біосенсорного біоломінесцентного аналізу проб ґрунтів паркових зон міста Одеса (Україна) можна зазначити: не зафіксовано вираженого інгібування рівня люмінесценції мікробних клітин – основи сенсорних елементів, що свідчить про відсутність речовин, токсичних для ґрунтових мікроорганізмів.

Зафіксовано незначний рівень стимуляції люмінесценції мікробних клітин – основи сенсорних елементів – може бути пов'язано із впливом підвищеного вмісту органічної компоненти у зразках ґрунту; проаналізовані зразки ґрунту паркових зон міста Одеса (Україна) віднесено до низького рівня екологічної токсичності; рівень забруднення окремими ВМ низький, що відповідає їхньому рівню забруднення за значеннями індексу геоаккумуляції.

8. Важливим є розроблення та затвердження нормативів щодо рухомих (водорозчинних) форм важких металів для водної витяжки ґрунту, з метою виявлення впливу на біоту.

9. Доцільним є продовження та систематизація досліджень рівня забрудненості важкими металами на окремих ділянках міста Одеса за різними методиками з метою виявлення закономірностей їхньої просторово-часової мінливості. Варто зауважити, що у контексті сучасних екологічних проблем, пов'язаних з інтенсивністю урбанізаційних процесів, розвитком транспортної інфраструктури та впливом воєнних дій на компоненти навколишнього природного середовища, регулярний моніторинг вмісту важких металів у ґрунтовому покриві набуває особливого значення для формування науково обґрунтованих рішень у сфері охорони довкілля.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Gmelin L. Handbuch der theoretischen Chemie. Frankfurt am Main: Varrentrapp, 1817. 1588 p.
2. Ю. П. Бобильов, В. В. Бригадиренко, В. Л. Булахов та ін. Екологія: базовий підручник для студентів вищих навчальних закладів. Харків, 2014. 666 с.
3. Закон України «Про заборону ввезення і реалізації на території України етилованого бензину та свинцевих добавок до бензину» № 2786-III: від 15.11.2001. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/278614#Text> (дата звернення: 12.03.2025).
4. Гирля Л. М. Фіторемедіація – ефективний шлях зниження вмісту важких металів у ґрунтах. *Наукові праці Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу "Києво-Могилянська академія"*. 2011. № 140. С. 57-59.
5. Гречишкіна Т.А. Екологічні дослідження застосування мінеральних добрив. *Актуальні проблеми розвитку аграрного сектору України*. 2018. №10. С. 225-233.
6. Мислива Т. М., Надточій П. П., Герасимчук Л. О. та ін. Ведення сільськогосподарського виробництва у приватному секторі в умовах посиленого антропогенного впливу на навколишнє середовище: рекомендації. Житомир, 2011. 50 с.
7. С. П. Кармазиненко, І. В. Кураєва та ін. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти): монографія. Київ, 2014. 168 с.
8. Жалій Б. О., Кузнецова Т. Ю. Важкі метали в ґрунті та їх вплив на організм людини. *XVI Менделєєвські читання: Наукові праці Всеукраїнської наук.-практ. конф.*, (Полтава, 14 – 15 березня 2023) Полтава, 2023. С. 21-22.

9. Грабко Н.В. Методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Екологія людини» для студентів денної та заочної форми навчання, рівень вищої освіти «бакалавр». Одеса: ОДЕКУ, 2020. 78 с.
10. Сологуб Л. І., Антоняк Г. Л., Бабич Н. О. Хром в організмі людини і тварин. Львів, 2007. 127 с.
11. Задорожня А. М., Грузіна Т.Г., Дибкова С.М., Ульберг З.Р. Біолюмінесцентні бактерії як сенсорні елементи для визначення вмісту іонів важких металів. *Біотехнологія*. 2008. Т.1, №4. С. 69 – 75
12. Kabata-Penddias A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton: CRS Press. 2011. 548 p.
13. Kowalska, J.B., Mazurek, R., Gąsiorek M., Zaleski, T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination - A review. *Environ. Geochem. Health*. 40(6). Epub, 2018. P. 2395–2420.
14. Shuangmei, Tong, Hairong, Li, Li, Wang, Muyesaier, Tudi, & Linsheng, Yang. Concentration, Spatial Distribution, Contamination Degree and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Urban Soils across China between 2003 and 2019-A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*., 2020. 3099 p.
15. Muller, G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geo Journal*, 2, P. 108–118.
16. Tomlinson, D.C., Wilson, J.G., Harris, C.R. & Jeffrey, D.W. Problems in Assessment of Heavy Metals in the Estuaries and the Formation of Pollution Index. *Helgoland Marine Research*, 33 (1), 1980. P. 566–575.
17. Pollution indices as useful tools for the comprehensive degree of soil contamination. A review. J.B. Kowalska et al. *Environmental Geochemistry and Health*. 2018.V. 40. P. 2395 – 2420.
18. Сафранов, О.В. Чепіжко, Є.Г. Коніков та ін . Оцінка техногенного впливу на геологічне середовище: підручник. Т.А. Одеса «Екологія», 2012. 272 с.

19. Онлайн конспект «Забруднення ґрунтів важкими металами та пестицидами». URL: <https://kegt.rshu.edu.ua/images/dustan/ORZR4.pdf> (дата звернення: 19.03.2025).
20. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України. За ред. А.І. Фатєєва, Я.В. Пащенко. Харків, 2023. URL: <https://digieduhack.com/challenges-images/assets/89> (дата звернення: 20.04.2025).
21. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2019 році. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Nats.-dop.-pro-stan-navk.-pryrodnogo-seredovyshha-v-Ukrayini-u-2019-rotsi.pdf> (дата звернення: 14.03.2025).
22. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин» від 15 грудня 2021 р. № 1325. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1325-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення: 15.03.2025).
23. Геоінформаційні карти України. URL: <https://geomap.land.kiev.ua/soil-7.html#close> (дата звернення: 15.03.2025).
24. Хохрякова А. І., Куліджанов Е. В. Характеристика ґрунтів Одеси. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2018. № 52. С. 293–302.
25. Кураєва І. В. Форми знаходження важких металів у ґрунтах України. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*. 2013. № 12. С. 331–338.
26. Мацибора А. В. Геоінформаційне моделювання розподілу важких металів у ґрунтах міста Київ. *Наукові відомості БелГУ. Серія Природничі науки*. 2014. № 194 (29). С. 156–162.
27. Домусчи С. В. Чинники і географія забруднення ґрунтів Одеської міської та приміської зон: дис... д-р., філософії: 106 «Географія» // Одеський національний університет імені І.І. Мечникова. Одеса, 2023. 225 с.

28. Хохрякова А. І., Михайлюк В. І. Грунти міста Одеси: монографія. Одеса, 2021. 247 с.

ДОДАТКИ

АКТ
відбору зразків ґрунту
від 29 березня 2025 року

Організація – Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

Юридична адреса - вул. Всеволода Змієнка, 2, м. Одеса, 65082

Місце відбору – територія парків, м. Одеса

Ґрунт – чорнозем південний мало гумусний важко суглинковий на лесі

Глибина відбору – 0-25 см

Реєстр зразків:

№ зп	Зміст варіанту	Види досліджень	Місце досліджень
1	Парк імені Т.Г. Шевченка	Визначення екотоксичності ґрунтів	Інститут біоколоїдної хімії ім. Ф.Д. Овчаренка НАН України, бульвар Академіка Вернадського, 42, Київ, 03142
2	Парк Перемоги, т. 1		
3	Парк Перемоги, т. 2		

Особа, відповідальна за відбір зразків:

Шелінговський Дмитро Валерійович, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 101 «Екологія», кафедра екології та охорони довкілля, факультет гідрометеорології і екології.
 Тел.: +380667471556. E-mail: shelingovskijdima@gmail.com

Завідувач кафедри екології та охорони довкілля
 Одеського національного університету імені І.І. Мечникова
 д-р техн. наук, професор



Ангеліна ЧУГАЙ

**Лабораторія моніторингу вод Відокремленого підрозділу
Басейнового управління річок Причорномор'я та нижнього Дунаю
«Причорноморський центр водних ресурсів та ґрунтів»**

вул. Л. Смиренка, 33 Б, м. Одеса, 706-12-42

Свідоцтво про визнання технічної компетентності № LB-10, видане 11.04.2024, чинне до 10.04.2029

Протокол вимірювання іонів важких металів у пробі ґрунту №1

від 15 травня 2025 року

Замовник вимірювань: Шелінговський Д.В., здобувач вищої освіти за спеціальністю 101 «Екологія» ОНУ імені І.І. Мечникова.

Мета вимірювань: визначення рухомих, водорозчинних форм важких металів у зразках ґрунту.

Об'єкт дослідження: 2 проби ґрунту, які відібрано у парках Перемоги та Шевченка.

Характеристика проб: проби ґрунту, кількістю 2 кг (кожна проба – 1 кг), були відібрані згідно з ДСТУ 4287:2004. Зауваження до пакування та зберігання зразків відсутні.

Результати вимірювань наведені у табл. 1 цього протоколу.

Таблиця 1 – Результати аналізу водних витяжок ґрунту окремих парків м. Одеса

№ з/п	Місце відбору,	Наважка проби ґрунту	Одиниці виміру	Показники							
				Cu	Cd	Zn	Fe	Al	Ni	Pb	Hg
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ПШ Проба №1	40 г	мг/дм ³	0,0200	0,0010	0,0000	0,0500	0,0126	0,0000	0,020	0,00
			мг/кг	0,1000	0,0050	0,0000	0,2500	0,0630	0,0000	0,100	0,00
2	ПП Проба №2	40 г	мг/дм ³	0,0150	0,00039	0,0000	0,0500	0,0000	0,0000	0,012	0,00
			мг/кг	0,0750	0,00195	0,0000	0,2500	0,0000	0,0000	0,060	0,00

Додаткова інформація:

Об'єм води для приготування проби: **200 мл**

Примітка: масову концентрацію іонів металів в пробах ґрунту знаходили за формулою:

$$C = C_{гр} * ((200*1000)/(1000*40)) = C_{гр} * 5$$

$C_{гр}$ мг/дм³ – виміряна концентрація;

1000 – кількість грамів у 1 кг

1000 – кількість см³ у 1 дм³

Дата видачі результатів вимірювань: 15 травня 2025 року

Завідувач лабораторії _____



Алла АРДІНЦЕВА

Додаток В

ЗАТВЕРДЖЕНОДиректор Інституту біологічної хімії
імені Ф.Д. Овчаренка НАН України

д.т.н., професор


 Світлана ПРОКОПЕНКО
« » 2025 р.
ЗАТВЕРДЖЕНО

В.о. декана факультету гідрометеорології і

Одеського національного

університету імені І.І. Мечникова

д.с.н., професор


 Микола СЕРБОВ
« » 2025 р.
АКТ
**ВИПРОБУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО БІОСЕНСОРНОГО
БІОЛЮМІНЕСЦЕНТНОГО АНАЛІЗУ У ДОСЛІДЖЕННІ ЗРАЗКІВ
ГРУНТУ ПАРКОВИХ ЗОН МІСТА ОДЕСА (УКРАЇНА)**
Виконавці:

Інститут біологічної хімії імені Ф.Д. Овчаренка НАН України



Світлана ДИБКОВА

завідувач відділу колоїдної технології
природних систем, к.б.н., с.н.с.


Тамара ГРУЗИНА

старший науковий співробітник відділу
колоїдної технології природних систем, к.б.н., с.н.с.


Людмила РЄЗНІЧЕНКО

старший науковий співробітник відділу
колоїдної технології природних систем, к.б.н.Одеський національний університет імені І.І. Мечникова; факультет
гідрометеорології і екології; кафедра екології та охорони довкілля


Ангеліна ЧУГАЙ

завідувач кафедри екології та охорони довкілля,
д.т.н., професор


Дмитро ШЕЛІНГОВСЬКИЙ

здобувач першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти за спеціальністю 101 «Екологія»

2025 рік