

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ імені С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ
КАФЕДРА СТАЛОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА
ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ**

Допускається до захисту

«_____» _____ 2025 р.
Зав. кафедри _____

(підпис)
к.б.н., доцент Петро ХІРІВСЬКИЙ
наук. ступ., вч. зв.(ім'я та прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Бакалавр
(рівень вищої освіти)

**на тему: «Зміна основних параметрів темно-сірого опідзоленого ґрунту
забрудненого іонами свинцю та кадмію»**

Виконав: студент групи Тз-41

Спеціальності 183 «Технології захисту
навколишнього середовища»

КОВАЛЬ Данило Орестович

Керівник: Наталія КАЧМАР _____

Консультант: Юрій КОВАЛЬЧУК _____

Львів 2025

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет ветеринарної медицини та
біотехнологій ім. С.З. Гжицького

Факультет агротехнологій та охорони довкілля
Кафедра сталого природокористування та захисту довкілля
Рівень вищої освіти «Бакалавр»
Галузь знань 18 «Виробництво та технології»
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри _____
к.б.н., доцент Петро ХІРІВСЬКИЙ
« _____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Коваль Данилу Орестовичу

1. Тема роботи: «Зміна основних параметрів темно-сірого опідзоленого ґрунту забрудненого іонами свинцю та кадмію»

Керівник кваліфікаційної роботи к.с.-г.н., доцент Наталія КАЧМАР

Затверджена наказом по університету № 631/к-с від 21. 11. 2023 р.

2. Термін здачі студентом закінченої кваліфікаційної роботи 05. 06. 2025 р.

3. Вихідні дані для кваліфікаційної роботи

Літературні джерела, інтернет ресурси, результати проведених досліджень

4. Перелік питань, які необхідно розробити (наводиться зміст, який містить пункти і підпункти усіх розділів)

Вступ

1 Огляд літератури

1.1 Характеристика джерел та шляхів надходження іонів свинцю та кадмію в навколишнє середовище

1.2 Особливості впливу важких металів на фізико-хімічні властивості темно-сірого опідзоленого ґрунту

2 Матеріали та методи дослідження

2.1 Ґрунтові та кліматичні умови території проведення досліджень

2.1.1 Ґрунтові умови території проведення досліджень

2.1.2 Кліматичні умови території проведення досліджень

2.2 Об'єкти та методика проведення польових досліджень

3 Результати дослідження

3.1 Особливості міграції та накопичення валових форм свинцю за профілем досліджуваного ґрунту

3.1.1 Рухомі форми свинцю в кореневмісному шарі досліджуваного ґрунту

3.2 Особливості міграції та накопичення валових форм кадмію за профілем досліджуваного ґрунту

3.2.1 Рухомі форми кадмію в кореневмісному шарі досліджуваного ґрунту

3.3 Взаємозв'язок між вмістом важких металів у ґрунті та його фізичними властивостями

3.3.1 Вплив іонів свинцю та кадмію на загальну пористість темно-сірого опідзоленого ґрунту

3.3.2 Вплив свинцю та кадмію на питому поверхню темно-сірого опідзоленого ґрунту

4. Охорона праці

4.1 Шкідливі та небезпечні фактори при виконанні весняно-польових робіт

4.2 Вимоги безпеки під час використання пестицидів та мінеральних добрив

Зробити висновки за результатами проведених досліджень

Сформуванати список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (подається конкретний перерахунок аркушів з вказуванням їх кількості)

6. Консультанти з розділів:

Роз-діл	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2, 3	Качмар Н.В. доцент кафедри сталого природокористування та захисту довкілля			
4	Ковальчук Ю.О. доцент кафедри інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання 18 вересня 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів проекту	При-мітка
1	Написання вступу та розділу «Огляд літератури»	18.09.23р.– 04.04.24р.	
2	Написання розділу «Методи дослідження»	05.04.24р.– 31.08.24р.	
3	Написання розділу «Результати дослідження»	01.09.24р.– 28.02.25р.	
4	Написання розділу «Охорона праці», формулювання висновків, оформлення списку використаних джерел	03.03.25р.– 05.06.25р.	

Студент _____
(підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Наталія КАЧМАР
(підпис)

УДК 631.41:546.815+546.48:631.453

Коваль Д.О. Зміна основних параметрів темно-сірого опідзоленого ґрунту забрудненого іонами свинцю та кадмію. Кваліфікаційна робота. Кафедра сталого природокористування та захисту довкілля. Дубляни, ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького, 2025. 54 с.

54 с. текст. част., 8 табл., 10 рис., 45 джерел

Досліджено властивості темно-сірого опідзоленого ґрунту щодо його стійкості в умовах імпактного забруднення свинцем і кадмієм у зоні західного Лісостепу України. Встановлено особливості міграції та акумуляції валових та рухомих форм важких металів у темно-сірому опідзоленому ґрунті та проаналізовано взаємозв'язок між вмістом важких металів і фізичними властивостями темно-сірого опідзоленого ґрунту.

Встановлено, що на відміну від свинцю, кадмій менш міцно зв'язується в ґрунтовому профілі. Досліджувані важкі метали, мають властивість змінювати питому поверхню темно-сірого опідзоленого ґрунту, безпосередньо, зменшувати, у випадку свинцевого забруднення, і навпаки збільшувати за умови кадмієвого забруднення, починаючи з глибини 20 см.

Розроблено питання охорони праці у процесі виконання польових робіт.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	8
1.1 Характеристика джерел та шляхів надходження іонів свинцю та кадмію в навколишнє середовище	8
1.2 Особливості впливу важких металів на фізико-хімічні властивості темно-сірого опідзоленого ґрунту	12
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	14
2.1 Ґрунтові та кліматичні умови території проведення досліджень	14
2.1.1 Ґрунтові умови території проведення досліджень	14
2.1.2 Кліматичні умови території проведення досліджень	18
2.2 Об'єкти та методика проведення польових досліджень	19
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	21
3.1 Особливості міграції та накопичення валових форм свинцю за профілем досліджуваного ґрунту	21
3.1.1 Рухомі форми свинцю в кореневмісному шарі досліджуваного ґрунту	24
3.2 Особливості міграції та накопичення валових форм кадмію за профілем досліджуваного ґрунту	26
3.2.1 Рухомі форми кадмію в кореневмісному шарі досліджуваного ґрунту	30
3.3 Взаємозв'язок між вмістом важких металів у ґрунті та його фізичними властивостями	33
3.3.1 Вплив іонів свинцю та кадмію на загальну пористість темно-сірого опідзоленого ґрунту	34
3.3.2 Вплив свинцю та кадмію на питому поверхню темно-сірого опідзоленого ґрунту	39
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	43
4.1 Шкідливі та небезпечні фактори при виконанні весняно-польових робіт	43
4.2 Вимоги безпеки під час використання пестицидів та мінеральних добрив	46
ВИСНОВКИ	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	50

ВСТУП

Через інтенсивну господарську діяльність людини, яка спричиняє численні зміни в складних природних системах, проблема забруднення агроландшафтів важкими металами з кожним роком стає дедалі актуальнішою. Хоча сполуки важких металів є природною складовою біосфери, останнім часом їхні природні цикли зазнали істотних змін, що негативно позначається на якості ландшафтів. У зв'язку з цим виникає потреба у постійному моніторингу рівня вмісту важких металів у ґрунтах, оскільки саме вони є джерелом надходження цих елементів до інших компонентів ландшафту та живих організмів [20, 26, 42].

Серед найпоширеніших забруднювачів ґрунтового середовища вирізняються свинець і кадмій. Потрапляючи в ґрунт, ці елементи здатні змінювати його фізико-хімічні властивості, а також впливати на рослини, підстилку, мікро- та мезофауну. Вони пригнічують процеси розкладу органічних речовин і уповільнюють обмін поживними елементами [9, 43].

Актуальність теми. Однією з найактуальніших проблем сучасності є забезпечення населення якісними та екологічно безпечними харчовими продуктами. Однак забруднення ґрунтів важкими металами стало серйозною перешкодою для вирощування й заготівлі сировини як рослинного, так і тваринного походження, необхідної для виробництва безпечної продукції. Це зумовлено тим, що шкідливі речовини у великій кількості накопичуються в ґрунтах, особливо в кореневому шарі. Їх поширення та надмірне накопичення в окремих елементах трофічного ланцюга «ґрунт–рослина–тварина–продукція–людина» створює серйозну екологічну загрозу.

Для сталого функціонування агроєкосистеми важливо забезпечити гармонійну взаємодію між усіма її складовими. Постійна увага до стану ґрунтів є запорукою збереження екологічної рівноваги та виживання людства. Водночас аграрний сектор, що активно розвивався у Львівській області в минулому, залишив по собі «токсичну спадщину», яка становить загрозу сьогодні. Це особливо стосується агроландшафтів, де тривалий час використовували

фосфорні добрива, що, як відомо, містять підвищені концентрації важких металів і токсичних речовин [5, 11, 12, 16].

У цьому контексті особливо актуальним є вивчення та прогнозування наслідків забруднення ґрунтів найбільш поширеними важкими металами першого класу небезпеки — свинцем і кадмієм. Саме тому дослідження їхнього впливу на фізико-механічні характеристики темно-сірого опідзоленого ґрунту має важливе наукове та практичне значення.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження було вивчення властивостей темно-сірого опідзоленого ґрунту щодо його стійкості в умовах імпактного забруднення свинцем і кадмієм у зоні західного Лісостепу України.

Для досягнення поставленої мети вирішувалося таке завдання:

- встановити особливості міграції та акумуляції валових та рухомих форм важких металів у темно-сірому опідзоленому ґрунті;
- встановити взаємозв'язок між вмістом важких металів і фізичними властивостями темно-сірого опідзоленого ґрунту.

Об'єкт дослідження: темно-сірий опідзолений ґрунт.

Предмет дослідження: фізико-хімічні властивості темно-сірого опідзоленого ґрунту за різних концентрацій його забруднення свинцем та кадмієм.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Характеристика джерел та шляхів надходження іонів свинцю та кадмію в навколишнє середовище

Свинцеві (Pb^{2+}) та кадмій (Cd^{2+}) – це важкі метали, які належать до числа токсичних елементів. Вони не мають життєво необхідних функцій для організмів, а їх накопичення призводить до серйозних екологічних та медичних проблем.

Обидва метали потрапляють у навколишнє середовище як внаслідок природних процесів, так і через інтенсивну господарську діяльність людини.

Основними **природними джерелами** з яких досліджувані полютанти надходять у довкілля є:

для свинцю :

– **вивітрювання порід**, що у своєму складі містять свинець, з подальшим потраплянням у ґрунт, воду та повітря.

– **виверження вулканів**, які викидають свинець у атмосферу.

для кадмію :

– **вивітрювання та ерозія гірських порід**, що містять у своєму складі кадмій (зокрема, сульфіди цинку зазвичай мають домішки кадмію).

– **вулканічна активність** [9, 13, 14] .

Основними **антропогенними джерелами** з яких досліджувані полютанти надходять у довкілля є (табл. 1.1):

Основним джерелом кадмію в добривах є фосфорні добрива, особливо ті, що виготовлені з природного фосфориту. Ці фосфорити, залежно від місця видобутку, можуть містити значну кількість кадмію як домішку. Наприклад, фосфорити з Північної Африки (Марокко) можуть містити високі концентрації кадмію – до 200 мг/кг або більше. У процесі виробництва добрив кадмій не видаляється повністю, і він залишається в кінцевому продукті [27, 30, 39].

Таблиця 1.1 – Джерела та шляхи надходження свинцю і кадмію в навколишнє середовище

Назва елемента	Антропогенні джерела надходження	Шляхи надходження (повітря, вода, ґрунт)
Свинець	Металургійна галузь – виплавка руд, вторинна переробка свинцевих акумуляторів, плавлення брухту; Транспорт – раніше свинець використовувався у складі етилованого бензину (свинець у формі тетраетилсвинцю), і хоча у більшості країн його вже заборонено, забруднення залишилось у ґрунтах та придорожніх зонах; Хімічна промисловість – виробництво фарб, пластмас, кераміки, акумуляторів; Спалювання вугілля – особливо бурого, що містить домішки свинцю; Будівельні матеріали – фарби зі свинцем, старі водопровідні труби; Військова промисловість – боєприпаси, снаряди, які містять свинець.	Повітря: викиди з труб, пил Вода: стічні води Ґрунт: атмосферні опади, добрива, сміттєзвалища
Кадмій	Металургійна промисловість – як побічний продукт при переробці руд цинку, свинцю та міді; Виробництво акумуляторів – нікель-кадмієві батареї; Виробництво пігментів – жовті, червоні, помаранчеві барвники на основі кадмію; Фосфатні добрива – можуть містити значні кількості кадмію як домішки; Електронна промисловість – для покриття металевих поверхонь (кадміювання); Спалювання побутових відходів – особливо пластмас, які містять кадмій; Теплова енергетика – спалювання вугілля з домішками кадмію.	Повітря: промислові викиди Вода: інфільтрація, скиди Ґрунт: добрива, опади, сміття

Європейський Союз, наприклад, поступово знижує допустимий вміст кадмію у фосфорних добривах. Деякі виробники використовують очищені фосфорити або спеціальні технології для зниження вмісту кадмію. Варто звернути увагу на органічні добрива (гній, компост), які не містять кадмію або містять його дуже мало.

Як і у випадку з кадмієм, природні фосфорити можуть містити домішки свинцю. Якщо не очищати сировину, цей свинець залишається у кінцевому продукті. Щодо органічних добрив то наприклад, компост або гній можуть також містити свинець, якщо тварини харчувались кормами, забрудненими свинцем або коли компост, який застосовують містить залишки фарби, батарей, побутової хімії (у випадку побутових відходів).

Отже, свинець і кадмій потрапляють у навколишнє середовище переважно внаслідок господарської діяльності людини. Їх джерела пов'язані з промисловістю, енергетикою, транспортом, сільським господарством. Ці метали можуть накопичуватись у ґрунтах, воді, біоті, спричиняючи довготривале забруднення та маючи токсичний, а іноді і летальний вплив на людей, тварин і рослини [30].

Свинець є нейротоксичною речовиною, тобто він шкідливо впливає на нервову систему. Кадмій є високотоксичним важким металом, який може накопичуватися в організмі, особливо в нирках та кістках. В останнє десятиліття ця проблема особливо поширена і набирає обертів.

Важливо зазначити, що ступінь та характер уражень залежать від багатьох факторів, включаючи дозу, тривалість впливу, індивідуальну чутливість та стан здоров'я людини [36, 40].

У таблиці 1.2 представлені основні захворювання та стани, пов'язані з впливом свинцю та кадмію на організм людини.

Таблиця 1.2 – Захворювання, пов'язані з впливом свинцю та кадмію

№ з/п	Місце ураження	Наслідки ураження
Свинець		
1	Ураження нервової системи	діти: може призвести до затримки розвитку, проблем з навчанням, зниження IQ, порушення поведінки (гіперактивність, імпульсивність), проблем зі слухом та мовленням. Навіть низькі рівні свинцю можуть мати негативний вплив на розвиток мозку. дорослі: може викликати периферичну нейропатію (слабкість та оніміння в кінцівках), головний біль, дратівливість, погіршення пам'яті та концентрації, судоми, а в тяжких випадках – енцефалопатію (ураження головного мозку)
2	Ураження нирок (свинцева нефропатія)	Тривалий вплив свинцю може призвести до хронічної ниркової недостатності
3	Вплив на кров	Свинець може порушувати синтез гемоглобіну, що призводить до анемії (зниження рівня еритроцитів)
4	Вплив на репродуктивну систему	У чоловіків може знижувати фертильність, а у жінок може бути пов'язаний з ускладненнями під час вагітності
5	Підвищений кров'яний тиск (гіпертензія)	Деякі дослідження показують зв'язок між впливом свинцю та підвищеним ризиком розвитку гіпертонії
6	Проблеми з травленням	Можуть виникати болі в животі, запори або діарея
7	Ураження кісток	Свинець може накопичуватися в кістках і впливати на їхню міцність
Кадмій		
1	Ураження нирок (кадмієва нефропатія)	Це одне з найхарактерніших уражень при хронічному впливі кадмію. Спочатку може проявлятися як протеїнурія (виділення білка з сечею), а з часом призвести до порушення функції нирок та хронічної ниркової недостатності
2	Ураження кісток (остеомаляція, остеопороз)	Кадмій може впливати на метаболізм кісткової тканини, призводячи до її розм'якшення (остеомаляція) та підвищеної крихкості (остеопороз), що збільшує ризик переломів. Одним із відомих проявів є хвороба "ітай-ітай" в Японії, спричинена отруєнням кадмієм через забруднений рис
3	Ураження легень	Гостре вдихання високих концентрацій кадмію може викликати гострий токсичний набряк легень. Хронічний вплив може призвести до емфіземи та інших респіраторних захворювань
4	Підвищений ризик раку	Кадмій класифікується як канцероген для людини. Існують докази його зв'язку з підвищеним ризиком раку легенів, простати та нирок
5	Вплив на серцево-судинну систему	Деякі дослідження показують зв'язок між впливом кадмію та підвищеним ризиком розвитку серцево-судинних захворювань, таких як гіпертонія та ішемічна хвороба серця
6	Анемія	Кадмій може впливати на кровотворення та призводити до анемії
7	Шлунково-кишкові розлади	Гостре потрапляння великої кількості кадмію через їжу або воду може викликати нудоту, блювання та діарею

Для запобігання подальшому забрудненню важливо контролювати викиди, застосовувати екологічно чисті технології та переробляти відходи належним чином.

1.2 Особливості впливу важких металів на фізико-хімічні властивості темно-сірого опідзоленого ґрунту

Забруднені ґрунти стають причиною накопичення токсикантів у вирощеній сільськогосподарській продукції, а це відповідно загрожує здоров'ю і людей і тварин через споживання таких забруднених продуктів. Свинець здатний уражати нервову систему, а от кадмій викликає ниркові захворювання та остеопороз. Дослідження змін основних параметрів ґрунту (рН, пористість, питома поверхня, вміст гумусу) дасть можливість прогнозувати рівень накопичення полютантів у рослинах. Загальне зниження родючості ґрунту завдяки токсичному впливу важких металів змушує працівників аграрного сектору збільшувати фінансові витрати на рекультивацію або шукати менш забруднені земельні ділянки. Така тенденція може призвести до значного зменшення врожайності та відповідно економічних втрат, особливо це стосується регіонів, де темно-сірі опідзолені ґрунти є панівними [1, 8].

Багато вчених зазначають, що накопичення у ґрунті важких металів призводить до ряду негативних наслідків. Наприклад, введення іонів свинцю (Pb^{2+}) та іонів кадмію (Cd^{2+}) у ґрунт спричиняють зміни кислотно-лужного балансу, що призводить до підвищення кислотності, а відповідно зміна рН впливає на рухомість інших елементів, порушуються звичні процеси комплексоутворення та відбувається виведенню поживних речовин з місцевої ґрунтової матриці [16, 38, 44].

Забруднення ґрунту вище зазначеними іонами змінює не лише його фізико-хімічні властивості, але й чинить виражений вплив на біологічну активність. Внаслідок зниження загальної чисельності мікроорганізмів, порушення наявних ферментативних процесів та відповідно зменшення потенціалу ґрунту щодо

самоочищення і є прямими негативними наслідками накопичення токсикантів. Зазначені зміни спричиняють руйнування біогеохімічних циклів, а це безпосередньо впливає на продуктивність сільськогосподарської рослинності та стійкість екосистеми в цілому.

Літературні дані свідчать про те, що навіть за умови незначних концентрацій Pb^{2+} та Cd^{2+} можуть стати причиною порушення мінерального складу ґрунту. Забруднювачі здатні взаємодіяти з органічними компонентами та утворювати стійкі комплекси. Такі процеси інтенсивно знижують біодоступність потрібних поживних елементів, знижуючи родючість ґрунту та інтенсифікується довготривалий деградаційний вплив в цілому на екосистему [34, 35].

Дослідниками встановлено, що свинець і кадмій володіють високим потенціалом щодо їх накопичення в темно-сірому опідзоленому ґрунті через їх потужну здатність зв'язуватися як з гумусовими компонентами так і мінеральною частиною [5, 9, 10].

Іони досліджуваних металів активно адсорбуються на поверхні мінеральних частинок, передусім на глинах та оксидах заліза. Такий процес передують утворенню стійких зв'язків між важкими металами та мінеральною частиною ґрунту, що відповідно знижує їх рухливість і впливає на перерозподіл токсикантів у профілі ґрунту. Поглинальні властивості ґрунту здатні відігравати вирішальну роль у зниженні ризиків, які пов'язані із забрудненням важкими металами.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Ґрунтові та кліматичні умови території проведення досліджень

2.1.1 Ґрунтові умови території проведення досліджень

Темно-сірі опідзолені ґрунти займають значні площі у досліджуваному регіоні. Також великі площі зайняті ясно-сірими та сірими лісовими ґрунтами. Загальний вміст гумусу у досліджуваному ґрунті є рівним 2,3 – 4,0 %, відповідно знижується із глибиною. Такий показник як сума увібраних основ перебуває у межах 12 – 22 мг-екв/100 г, а гідролітична кислотність становить 1 – 3,7 мг-екв/100 г ґрунту. Для даного ґрунту рН рівна 5,5 – 6,0, встановлено, що ступінь насичення основами становить 80 – 95 % [6, 19].

Темно-сірий опідзолений ґрунт володіє вираженим типом горизонтальної структури. Структурні особливості даного ґрунту забезпечують відносно високий ступінь зв'язування усіх часток, що у свою чергу сприяє нагромадженню гумусу та стабілізації наявних поживних речовин. Проте, вплив іонів свинцю та кадмію може спричинити руйнування агрегатів, які відповідно знижують водопроникність та ґрунтову аерацію.

Гранулометричний склад будь-якого ґрунту свідчить про особливості його родючості та загальну господарську цінність.

Гранулометричний склад здатний впливати на водні та фізичні, фізичні та механічні, повітряні та теплові властивості. Від особливостей гранулометричного складу залежать і окисно-відновні особливості, поглинальна ґрунтова здатність, інтенсивність накопичення гумусу, зольних елементів та азоту ґрунтом. Залежать від гранулометричного складу і умови обробітку, періоди польових робіт, кількості добрив, які потрібно вносити, розміщення культур, а відповідно і їх врожайність [4, 6].

Характеристика морфологічної будови та окремих зовнішніх ознак розрізу темно-сірого опідзоленого ґрунту наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Опис розрізу темно-сірого опідзоленого ґрунту

Назва горизонту	Опис горизонту
He (0 – 24 см) – гумусовий	добре елювіований, орний, темно-сірий, вологий, крупнопиловато-легкосуглинковий, порохувато-слабогрудкуватий, пухкий, свіжий, пронизаний корінням рослин, перехід чіткий, помітна присипка SiO ₂ .
He (25 – 40 см) – гумусовий	добре елювіований, підорний, темно-сірий, вологий, крупнопиловато-легкосуглинковий, ущільнений, пластинчасто-дрібногоріхуватий, рідко зустрічається коріння рослин, помітна присипка SiO ₂ ; перехід поступовий.
Hi (41 – 72 см) – гумусово-ілювіальний	сірувато-бурий, крупнопиловато-легкосуглинковий, ущільнений, горіхуватий, а донизу призматичний, у верхній частині помітна присипка SiO ₂ ; перехід поступовий.
I (73 – 90 см) – ілювіальний	жовто-бурий, крупнопиловато-легкосуглинковий, призмовидний, у верхній частині трапляються натіки гумусу і присипка SiO ₂ ; перехід поступовий.
Pi (91 – 130 см) – ілювіована порода	жовто-бура, крупнопиловата-середньосуглинкова; перехід різкий, нерівний.
Pk (131 – 180 см) – материнська порода	жовто-пальова, легкосуглинкова, карбонатна.

Відповідно до особливостей щодо гранулометричного складу то досліджуваний нами темно-сірий опідзолений ґрунт відноситься до легкосуглинкового і володіє наступним відсотковим відношенням різних фракцій (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Гранулометричний склад темно-сірого опідзоленого ґрунту, %

Глибина, см	Розмір часток, мм						
	пісок		пил			мул	сума
	1-0,25	0,25-0,05	005-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	<0,01
0-20	1,98	23,94	53,16	5,28	6,98	8,66	20,92
20-30	2,33	22,45	55,06	7,30	7,38	5,48	20,16
50-60	2,10	17,98	51,98	5,46	5,48	17,00	27,94
80-90	2,24	17,62	52,22	4,34	6,04	17,54	27,92
100-110	0,60	0,49	65,07	7,26	7,95	19,13	34,34

Згідно даних у таблиці, гранулометричний склад даного ґрунту характеризується переважанням фракцій середнього та грубого пилу при відносно малій кількості мулу, який є вимитий в ілювіальний горизонт. Значна кількість пилу передує утворенню кірки на поверхні ґрунту.

У таблиці 2.3 наведена загальна агрохімічна характеристика темно-сірого опідзоленого ґрунту.

Таблиця 2.3 – Характеристика агрохімічних показників темно-сірого опідзоленого ґрунту

Шар ґрунту	Гумус	рН	Легкогідролізований азот	Рухомий фосфор	Обмінний калій
см	%	сольове	мг/кг повітряно-сухого ґрунту		
0-10	2,28	5,8	109	193	125
10-20	2,1	5,8	108	192	125
20-30	2,0	5,8	108	190	123

Загальний вміст гумусу у досліджуваному ґрунті знижується рівномірно до ґрунтоутворюючої породи. У верхньому орному шарі вміст гумусу коливається від 2,3 до 2,0 %, а відповідно характеризується як низький [4, 6, 7].

Отже, забезпечення даного ґрунту гідролізованим азотом (вміст якого в ґрунті визначали за Корнфільдом), який є складовою гумусу, сполук органо-мінерального походження і також є обов'язковим елементом живлення усіх рослин; фосфором (визначали за Чириковим), який входить до складу органічної речовини ґрунту; а також калієм (визначали за Чириковим), що акумулюється зазвичай у глинистих мінералах тонко дисперсних фракцій або в певних первинних мінералах є середнім.

Встановлено, що на один кілограм повітряно-сухого ґрунту припадає від 108 до 109 мг легкогідролізованого азоту, 190 – 193 мг фосфору та 123 – 125 мг калію.

Для темно-сірого опідзоленого ґрунту характерна зазвичай висока кислотність та вагомий вміст органіки, що сприяє активному комплексуванню досліджуваних важких металів.

Водно-фізичні властивості досліджуваного ґрунту в міру збільшення глибини характеризуються і дещо збільшенням таких показників як об'ємна і питома маси, але зменшенням загальної пористості та максимальної гігроскопічності.

Орний шар володіє наступними фізичними властивостями ґрунту: об'ємна маса рівна 1,28, а питома – 2,42 г/см³, загальна пористість становить 51,2 %, максимальна гігроскопічність – 4,4 %. Відповідно, агрономічні властивості даного ґрунту задовільні.

Дослідниками встановлено, що забруднення ґрунту іонами вище вказаних металів супроводжується змінами і в мінеральному складі. Фіксується зниження вмісту вільних іонів Са та Mg, що є досить критичним фактором для нормального функціонування екосистеми ґрунту. Зміни хімічних показників ґрунту, особливо утворення комплексів з речовинами органічного походження, стають прискорювачем негативних біогеохімічних процесів [5, 16].

2.1.2 Кліматичні умови території проведення досліджень

На території, де проводилися дослідження клімат є помірно континентальним. Зима є досить м'якою, весна довгою і зазвичай вологою, літо є неспекотним, а осінь є теплою та сухою. Проте, у час глобальної зміни клімату вище вказана тенденція часто не відповідає звичним закономірностям.

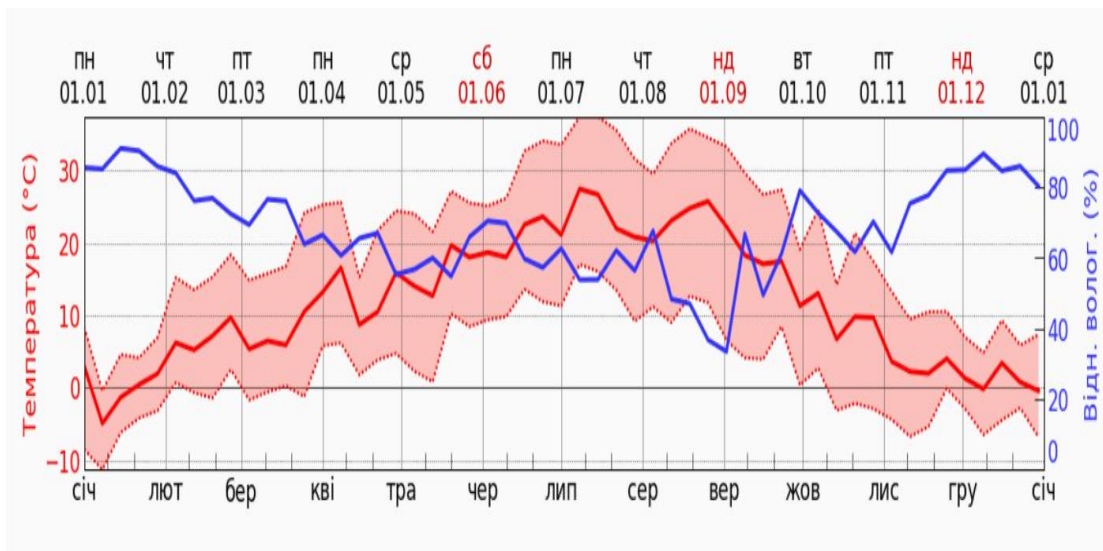


Рисунок 2.1 – Середньорічна температура повітря впродовж 2024 року у зоні дослідження

Така величина як сумарна сонячна радіація знаходиться на рівні 90 – 95 ккал/см².

Для даної місцевості зазвичай притаманні вітри західних румбів, а середня їх річна швидкість відносно незначна і рівна 4 м/с. За рівнем зволоження досліджуваний регіон належить до зони, яка достатнього забезпечена вологою (більше 600 мм опадів на рік) [12].

Від кількості опадів залежить і інтенсивність міграції важких металів за профілем ґрунту. Досліджувані полютанти мають здатність вимиватися із кореневмісного горизонту або зв'язуватися і утворювати недоступні для рослин форми.

На рисунку 2.2 представлені дані щодо загальної кількості опадів у зоні дослідження продовж 2024 року [45].

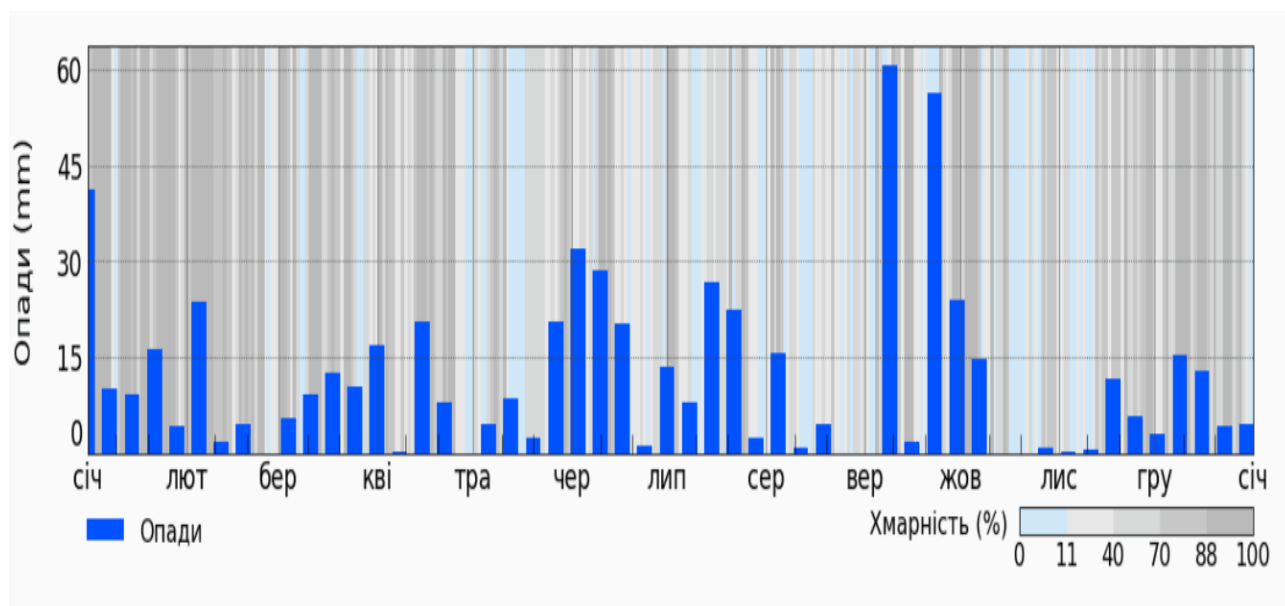


Рисунок 2.2 – Кількість опадів у зоні дослідження впродовж 2024 року

Ґрунтові та кліматичні умови у межах західного Лісостепу є досить сприятливими і дозволяють вирощувати як багаторічні трави, ярі та озимі зернові, кукурудзу так і зернобобові культур.

2.2 Об'єкти та методика проведення польових досліджень

Дослідження щодо впливу іонів свинцю та кадмію на фізико-хімічні показники ґрунту проводили методом польових (на території дослідного поля Львівського національного університету природокористування) та лабораторних досліджень. Наші дослідження ми проводили на темно-сірому опідзоленому ґрунті.

Модельний польовий дослід мікроділянкового типу закладено навесні 2024 р. Організація та особливості проведення польових досліджень відбувалися згідно загальноприйнятих методик [6] (площа 1-ї облікової ділянки була рівна 2 м²). Оцінка екотоксикологічного впливу свинцю та кадмію на вибрані показники ґрунту проводилась в умовах імпактного забруднення, а саме одноразове внесення забруднювачів у ґрунт. Використовували для дослідження солі $Pb(CH_3COO)_2$ та $CdCl_2 \cdot 2,5H_2O$. Дані полютанти вносили окремо у ґрунт на

глибину 0 – 20 см у концентрації 10 ГДК валових форм. На забрудненому ґрунті вирощували ячмінь ярий.

Дані дослідження проводилися з метою вивчення процесів міграції та трансформації Pb та Cd за профілем темно-сірого опідзоленого ґрунту.

Відбір зразків ґрунту, з глибини 0 – 60 см, кожні 10 см, проводили ґрунтовим буром після того як зібрали врожай ячменю.

Встановлення базових фізико-хімічних показників досліджуваного темно-сірого опідзоленого ґрунту відбувалося згідно загальноприйнятих методик: загальний вміст гумусу – за Тюрінім; для визначення рН сольової витяжки використовували потенціометричний метод; пористість ґрунту (зразки ґрунту висушували при температурі 105°C.) визначали згідно методики Micrometrics Mercury Porosimeter Autopore IV 9510 Model використовуючи тиск від 0,0036 до 413 МПа. Згідно рівняння Washburn обчислювали радіус пор [33, 37].

Вміст свинцю та кадмію у пробах ґрунту визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії використовуючи прилад С115М. У ґрунті визначали як валові так і рухомі форми важких металів.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Особливості міграції та накопичення валових форм свинцю за профілем досліджуваного ґрунту

Аналіз літературних джерел показує, що вчені дійшли спільного розуміння щодо шляхів потрапляння та дії свинцю в екосистемах. Встановлено, що свинець, опинившись у ґрунті, може сорбуватися ґрунтовими колоїдами, преципітувати, вилуговуватися в нижні горизонти, емітуватися в атмосферу, зазнавати біотрансформації або акумулюватися кореневою системою рослин. Враховуючи, що основна маса коренів знаходиться в орному шарі, вони відіграють значну роль у поглинанні свинцю. Зафіксовано зменшення вмісту свинцю з глибиною ґрунтового профілю, причому значна частина розсіяного металу адсорбується дрібнодисперсною фракцією ґрунту [17, 18].

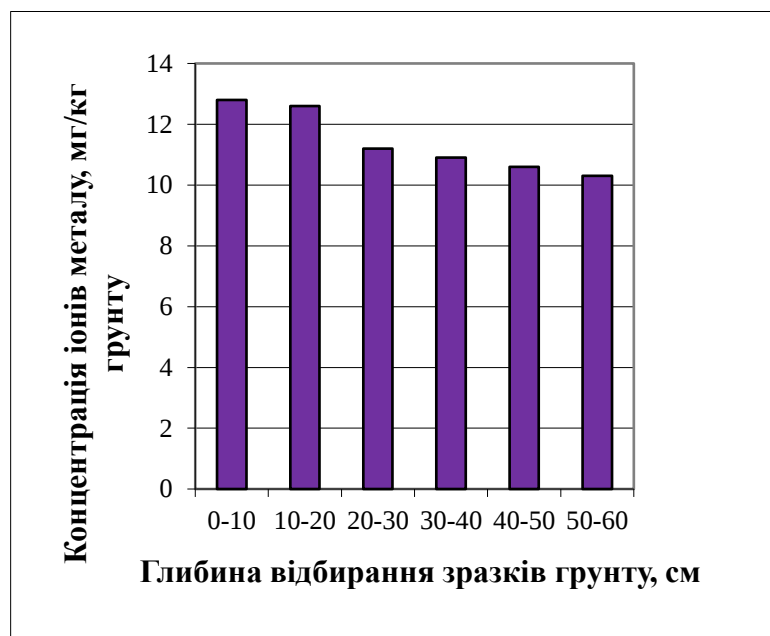


Рисунок 3.1 – Фоновий розподіл свинцю за профілем темно-сірого опідзоленого ґрунту

Згідно наших досліджень, фоновий вміст свинцю – валові форми, на контрольних ділянках в 0 – 20 см шарі був на рівні 12,7 мг/кг ґрунту.

Валовий вміст досліджуваного елементу в цьому ж шарі, наприклад у лісопарковій зоні міста Львова рівний 17,2 мг/кг ґрунту, у межах парків – 19,7, а на окремих узбіччях даний показник досягав 127,4 мг/кг ґрунту [5].

Згідно з представлених даних, рисунок 3.1, найвищим вміст свинцю є у кореневмісному шарі даного ґрунту, а далі в інших шарах ґрунту спостерігається нерівномірний розподіл політанта. В верхньому гумусовому горизонті зосереджено 37,4 % токсиканта відносно усієї кількості важкого металу на вибраній досліджуваній глибині. Загальна його кількість зменшується в межах елювіального горизонту, однак на глибині 40 – 60 см зафіксоване часткове затримання. Проте, загалом кількість акумульованого свинцю з відносно незначною різницею зменшувалася вниз за профілем.

Встановлено, що основною причиною вказаної вище закономірності є здебільшого фізико-хімічні властивості досліджуваного типу ґрунту, які і дають можливість затримувати основну кількість важкого металу власне у верхніх шарах.

Таблиця 3.1 – Фізичні властивості темно-сірого опідзоленого легкосуглинкового ґрунту

Глибина відбору зразка, см	Маса ґрунту, г/см ³		Максимальна гігроскопічність
	об'ємна	питома	
0-20	1,28	2,42	4,4
20-40	1,39	2,48	3,9
40-60	1,48	2,54	3,4
60-80	1,51	2,57	3,1
80-100	1,63	2,65	2,9

Відносно фонового вмісту свинцю в кореневмісному шарі (0 – 20 см) досліджуваний ґрунт відповідає вимогам щодо придатності для вирощування сільськогосподарської продукції, яка буде безпечною для харчування.

За умови зростання навантаження (до 10 ГДК), методом штучного внесення іонів свинцю, максимального забруднення зазнають саме верхні шари ґрунту. Проте, за даної норми ілювіальний горизонт, який зазвичай знаходиться на межі порід і відповідно підданий процесу оглеєння (тобто є більш важкий за гранулометричним складом) здатний накопичувати різноманітні забруднювачі (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Міграція свинцю, внесеного в дозі 10 ГДК, за профілем темно-сірого опідзоленого ґрунту

За умови наявності свинцю у ґрунті в дози 10 ГДК, нами зафіксована більш значна різниця у вмісті свинцю в орному та ілювіальному горизонтах. Наприклад, у рік внесення свинцю у ґрунт в ілювіальному горизонті його було практично у 10 разів менше, порівняно з гумусовим горизонтом (0 – 20 см). Відповідно з роками цей показник має тенденцію змінюватися (хоча і в незначній мірі) за рахунок процесу міграції полютанта за профілем ґрунту.

Загалом, у межах кореневмісного шару від усієї загальної кількості внесеного свинцю акумулювалося у рік дослідження – 79,2 %. У наступні два роки цей показник становив відповідно – 74,7 та 71,1 %. Отже, спостерігаємо невисоку міграційну здатність свинцю за вказаного вище рівня навантаження темно-сірого опідзоленого ґрунту.

Затримання свинцю у верхніх шарах, на думку вчених, також пов'язана з так званим “поважченням” гранулометричного складу ґрунту та його кислотністю. Саме ці показники і визначають основну стійкість бар'єрної функції ґрунтів за принципом осадження гідроксидів важких металів, а також і їх адсорбції наявною твердою фазою [4, 23, 28].

Отже, можна зробити висновок, що подальшому мігруванню іонів свинцю за досліджуваним ґрунтовим профілем, зазвичай, перешкоджає адсорбційна здатність саме підорного шару, а відповідно внаслідок цього забруднювач затримується переважно в верхньому орному шарі.

3.1.1 Рухомі форми свинцю в кореневмісному шарі досліджуваного ґрунту

Показник вмісту саме рухомих форм важких металів у певному ґрунті є одним з найбільш визначальних та лабільних властивостей ґрунтів. Даний показник має властивість змінюватися і в часі, і в просторі навіть якщо це стосується відносно невеликої території [10, 30].

Добре відомо, що інтенсивність переміщення хімічного елемента значною мірою визначається низкою факторів. Серед найбільш важливих — міцність зв'язку його сполук з твердою фазою ґрунту, стан елементів у ґрунтовому розчині, фізико-хімічні властивості самого металу, а також інші характеристики [1, 40].

З урахуванням того, що важкі метали, як правило, утворюють малорозчинні гідроксиди, у ґрунтовому розчині можуть формуватись розчинні гідроксокомплекси металів з різною кількістю гідроксид-іонів. Наприклад,

гідроксид свинцю осаджується в дуже вузькому діапазоні значень рН, який знаходиться в лужному середовищі (близько рН 11).

Рухливість свинцю в ґрунтах залежить від хімічної форми його сполук: це можуть бути як вільні розчинні іони, так і комплекси з неорганічними аніонами або органічними лігандами; іони, обмінно адсорбовані на глинистих мінералах чи органічній речовині завдяки електростатичним взаємодіям; а також орґано-мінеральні гетерополярні сполуки, комплексно-гетерополярні солі, сорбційні комплекси тощо [30, 32].

Отже, згубний вплив чинить не вся кількість свинцю у ґрунті, а тільки рухомі форми, що зосереджені у ґрунтовому розчині. Наявна інформація щодо частки рухомих форм полютанта в ґрунті дає уявлення про небезпечність важкого металу як для ґрунтової біоти, рослин так і людини зокрема [1, 43].

На рисунку 3.3 видно, що відсоток рухомих форм свинцю власне на фоновій ділянці дорівнює 9,9 %.

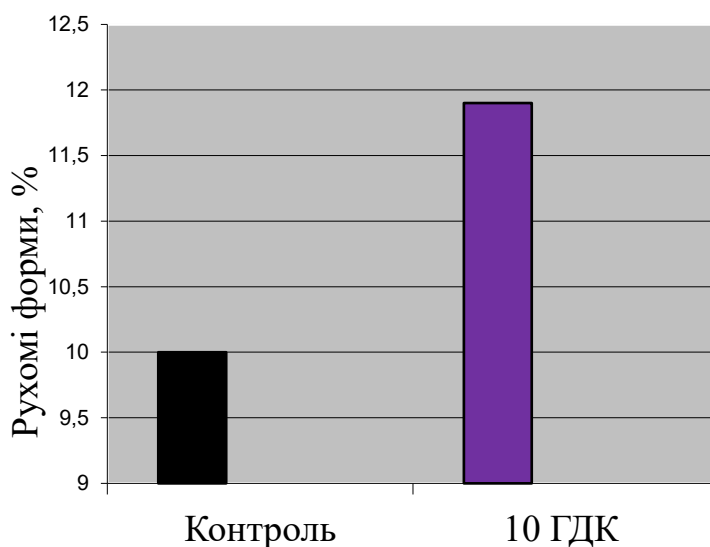


Рисунок 3.3 – Відсоток рухомих форм у валовому вмісті свинцю в кореневмісному шарі темно-сірого опідзоленого ґрунту

Внесення полютанта в ґрунт у дозі 10 ГДК Pb^{2+} стало причиною збільшення не лише валових, проте і рухомих форм даного металу в ґрунті.

Зазначимо, що частка рухомих форм вище вказаного політанта у рік його внесення в досліджуваний ґрунт становила 11,9 % від усього загального його валового вмісту в даному ґрунті.

Завдяки специфічним властивостям темно-сірого опідзоленого ґрунту, вміст рухомих форм сполук свинцю в ньому залишається низьким. Такі ґрунти переважно мають слабокислу або нейтральну реакцію, що зумовлює низьку рухливість свинцю. У шарі ґрунту завглибшки 0–20 см рівень мобільності свинцю також визначається кількістю органічної речовини, яка здатна адсорбувати загальні форми металу, зменшуючи тим самим частку його рухомих форм. Підвищення вмісту органічної речовини сприяє отриманню сільськогосподарської продукції, безпечної для споживання.

Згідно з отриманими результатами, агрохімічні й агрофізичні характеристики кореневмісного шару ґрунту є ключовими чинниками, що впливають на ступінь рухомості і, відповідно, доступності іонів свинцю для рослин.

Водночас варто зауважити, що наведені висновки стосуються лише ситуацій, коли вміст свинцю в ґрунті є відносно невисоким і зумовлений штучним внесенням металу.

3.2 Особливості міграції та накопичення валових форм кадмію за профілем досліджуваного ґрунту

Інтенсивність вертикального руху кадмію в межах ґрунтового профілю, аналогічно іншим важким металам, залежить головним чином від фізико-хімічних параметрів досліджуваного ґрунту. Маючи дані про особливості його низхідної транслокації, можна частково оцінити можливість отримання екологічно безпечної продукції з території, що характеризується прийнятним вмістом цього металу. Прогнозування динаміки кадмію в системі "ґрунт-рослина" ускладнюється непостійністю низки чинників: метеорологічні умови місцевості, швидкість надходження цього політанта в ґрунт з техногенних

джерел тощо. До перелічених факторів слід додати переміщення речовин у ґрунті, нижніх шарах атмосфери, поверхневих і підземних водах [40, 41].

Отримані нами результати засвідчують, що вміст іонів кадмію на контрольному варіанті не перевищує встановлену гранично допустиму концентрацію і у верхньому родючому шарі рівний – 0,91 мг/кг ґрунту. Фонові концентрації більшості важких металів зазвичай присутні у всіх складових екосистем (зокрема у ґрунтах, рослинах, тваринах і навіть організмі людини), проте вони не здатні чинити суттєвого негативного впливу в цілому на нормальне функціонування таких екосистеми. Відомим є факт, що станом на даний час основна частина ґрунтів є забруднена саме важкими металами [2, 3, 12, 14].

Отримані нами результати узгоджуються з даними інших дослідників щодо питань вивчення міграції та накопичення елементів у ґрунтах. Підтверджено, що основна маса кадмію концентрується в гумусовому горизонті. Ілювіальний горизонт також має високу акумулятивну здатність щодо кадмію, виступаючи своєрідним сорбційним бар'єром, що пов'язано зі збільшеним вмістом органічної речовини. Вміст металу зменшувався з глибиною ґрунтового профілю. Міграція кадмію в важких ґрунтах є повільним процесом, інтенсивність якого залежить від їх фізико-хімічних властивостей. Більша частина кадмію затримується в ґрунті, і лише незначна його кількість виноситься за його межі [10, 13, 19].

Фоновий вміст іонів кадмію у досліджуваному кореневмісному шарі темно-сірого опідзоленого ґрунту був на рівні 0,91 – 0,89 мг/кг ґрунту (рис. 3.4).

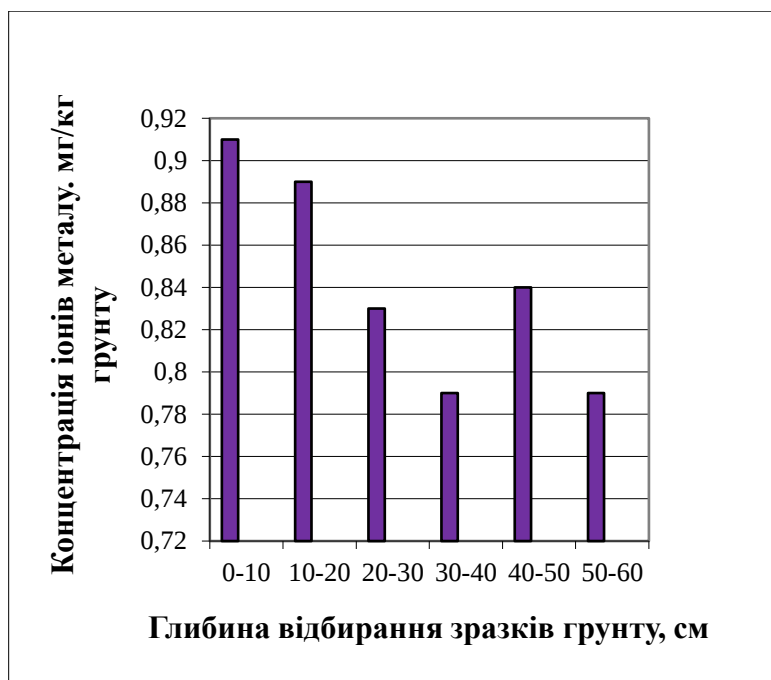


Рисунок 3.4 – Фоновий розподіл кадмію за профілем темно-сірого опідзоленого ґрунту

Загалом даний показник є стабільним впродовж останніх років, притаманні незначні коливання. Нами встановлена тенденція (левова частина кадмію затримується у верхньому шарі, а саме 0 – 20 см, гумусовому та ілювіальному горизонтах) відносно перерозподілу описаного металу за профілем даного ґрунту. На глибині 20 – 40 см акумулюється найменша кількість кадмію, що безпосередньо пов'язано з процесами, які відбуваються власне у цьому профілі.

Міграційна активність іонів кадмію пов'язана з окремими особливостями ґрунтового профілю. Отже, забруднювач може вимиватися з одних ґрунтових горизонтів і відповідно накопичуватися в інших, де є підвищений вміст гумусу, а також мулистих часток. Відсоток акумульованого важкого металу у кореневмісному шарі відповідно до усього досліджуваного нами профілю становив 36,1 %.

Проте, коли в орний шар потрапило забруднювача в дозі 10 ГДК валових форм кадмію, була зафіксована зміна характеру перерозподілу цього елемента загалом за профілем темно-сірого опідзоленого ґрунту (рис. 3.5).

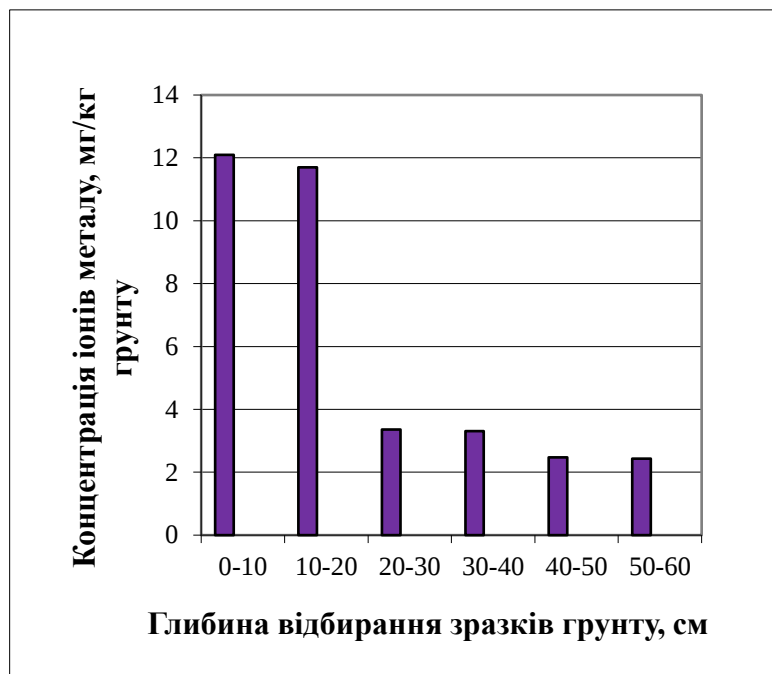


Рисунок 3.5 – Міграція кадмію, внесеного в дозі 10 ГДК, за профілем темно-сірого опідзоленого ґрунту

При відносно високому рівні забруднення ґрунту іонами кадмію (10 ГДК), основна його частина акумулювалася саме в кореневмісному шарі.

У рік внесення полютанта у ґрунт відсоток акумульованого металу у шарі 0 – 20 см відносно досліджуваного усього профілю був рівним – 67,2 %. В межах ілювіального горизонту фіксували перевищення наявної фонові концентрації в середньому в три рази, тоді як у шарі 0 – 20 см у 12 разів. Якщо порівнювати до встановленої ГДК то перевищення вмісту важкого металу у межах кореневмісного шару сягало 4-х разів. Профільний перерозподіл кадмію носить більш вибіркового характер з максимальним його нагромадженням у гумусо-акумулятивному та ілювіальному горизонтах.

Однією з головних причин активної акумуляції кадмію у верхньому гумусовому шарі є гранулометричний склад ґрунту, який у нашому дослідженні

характеризувався як відносно важкий [5, 6, 7]. У кожному наступному, глибшому горизонті спостерігалось зменшення вмісту металу, що корелює зі зростанням щільності ґрунту. Хоча отримані результати дають змогу з певною мірою впевненості інтерпретувати тенденції перерозподілу кадмію в ґрунтовому профілі, вони дозволяють лише орієнтовно судити про санітарно-гігієнічний стан сільськогосподарських угідь.

Визначення достовірної інформації про екологічний стан агроценозів ускладнюється комплексним характером забруднення, де взаємодія різних елементів (антагонізм, синергізм), процеси трансформації та надходження важких металів у рослини створюють додаткові труднощі для точної оцінки.

Однак згідно принципів екологічних законів цілковитого виведення полютанта з певного горизонту ґрунту не відбувається, а відповідно це призводить до порушення рівноваги системи, тому що при значному навантаженні вона не здатна повертатися до попереднього стану [9, 19, 20].

Отже, на відміну від свинцю, кадмій менш міцно зв'язується в ґрунтовому профілі. Кількість загальних форм кадмію в конкретному горизонті залежить від початкової дози внесеного в ґрунт металу, його фізико-хімічних характеристик, кліматичних умов та інших факторів. Спостерігалось зменшення вмісту кадмію з глибиною ґрунту та часом його забруднення. У випадку використаних у дослідженні концентрацій кадмію, гумусовий та ілювіальний горизонти ефективно запобігають міграції сполук кадмію вглиб профілю темно-сірого опідзоленого ґрунту, виконуючи бар'єрну роль.

3.2.1 Рухомі форми кадмію в кореневмісному шарі досліджуваного ґрунту

Достовірно оцінити стан певного рослинного організму, що зростав на забрудненому ґрунті, маючи інформацію лише про валові кількості важких металів, можливо при значно високих їх вмісті у ґрунті (перевищення ГДК в 50, а інколи і 100 раз). За умови незначних рівнів забруднення певного ґрунту

найбільш об'єктивним критерієм слід вважати показник рухомості елемента. Зазвичай, для кореневмісного шару ґрунту притаманне переважання саме рухомих форм металів, і вченими доведено, що така закономірність являється спільною практично для всіх ґрунтів, які є забрудненими. Однак і навіть рухомі форми важких металів, незважаючи на методику їх визначення, лише приблизно дають інформацію про їх реальну доступність рослинам [26, 43].

Кадмій вважається надзвичайно небезпечний ще й по причині того, що він володіє високою токсичністю і рухливістю у ґрунті в межах широкого діапазону значень рН. За винятком кадмію, в середовищі з нейтральним значень рН ще також досить рухливими є і такі елементи як магній, манган та залізо [35].

Рівень вмісту рухомих форм кадмію в ґрунті, зокрема в кореневмісному шарі, визначається низкою чинників: інтенсивністю процесів його вилугування в глибші горизонти, наявністю органічних речовин, механічним складом ґрунту, характеристиками самого забруднювача, його загальною концентрацією, а також біологічними особливостями вирощуваної культури на забрудненій території [39, 40].

Згідно наших досліджень, на фоновій ділянці відсотковий вміст рухомих форм кадмію становив в середньому 25 % (рис. 3.6).

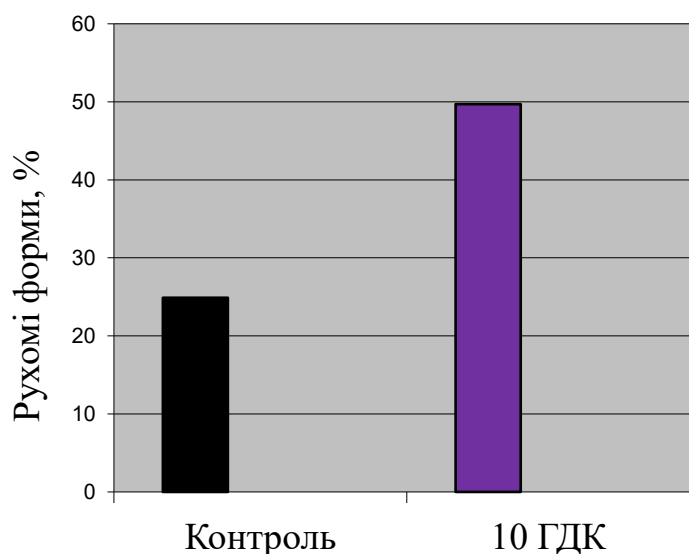


Рисунок 3.6 – Відсоток рухомих форм у валовому вмісті кадмію в кореневмісному шарі темно-сірого опідзоленого ґрунту

Фактично на 25,0 % у порівнянні з фоном був вищим відсоток рухомих форм кадмію на варіанті досліду, де політанта було внесено в концентрації 10 ГДК Cd^{2+} .

Згідно з даними наукової літератури, кадмій має вищу доступність для рослин порівняно зі свинцем. Це пояснюється тим, що у ґрунті він переважно перебуває у формі обмінних іонів, які легко переходять у доступні для рослин сполуки та активно поглинаються кореневою системою [15, 18].

Зменшення концентрації рухомого кадмію з часом здебільшого обумовлене його поступовим зв'язуванням із різними функціональними групами у ґрунті. Така динаміка дозволяє частково прогнозувати поведінку агросистеми, забрудненої важкими металами, у довготривалій перспективі, що, у свою чергу, дає змогу оцінити її потенціал для вирощування екологічно безпечної сільськогосподарської продукції.

Загальний вміст рухомих форм кадмію у досліджуваному ґрунті на ділянці досліду 10 ГДК Cd^{2+} був вищим за допустиме значення ГДК.

У порівнянні зі свинцем, кадмій проявляє значно вищу рухомість у темно-сірому опідзоленому ґрунті. Це свідчить про відмінності між цими двома важкими металами стосовно їх здатності до засвоєння рослинами. Через високу мобільність кадмію особливо важливо здійснювати контроль за його вмістом у сільськогосподарській продукції, адже зазначений тип ґрунту не забезпечує повного переведення цього металу у форми, недоступні для рослин.

За результатами спостережень встановлено чітку закономірність взаємодії важких металів з органічною речовиною ґрунту: зі збільшенням вмісту гумусу зростала концентрація валових форм свинцю і кадмію, водночас знижувалась частка їх рухомих форм.

Таким чином, чим вищі значення фізико-хімічних показників темно-сірого опідзоленого ґрунту, тим більшою є його здатність утримувати важкі метали, що суттєво впливає на їх надходження в рослинні організми.

3.3 Взаємозв'язок між вмістом важких металів у ґрунті та його фізичними властивостями

Ґрунти характеризуються високою акумулюючою здатністю щодо різноманітних забруднюючих речовин, які згодом можуть активно залучатися до біогеохімічних циклів. Фізико-хімічні процеси, що протікають у ґрунті, а саме водна та іонна адсорбція, кислотно-лужний баланс, а також транспортні властивості, є детермінантами міграції металів у межах ґрунтового профілю. Морфологія верхнього ґрунтового горизонту, зокрема його пористість, залежить від його фізико-хімічних характеристик [4, 6, 8].

Ґрунтові пори бувають різними за розміром. Крім великих пор, які не мають капілярних властивостей, у ґрунті є також дрібні капілярні пори. Через великі пори в основному відбувається обмін газами, і вони зазвичай заповнені повітрям. Вода в таких порах рухається лише зверху вниз під дією сили тяжіння. Маленькі капілярні пори можуть містити як повітря, так і воду, і вода в них може рухатися в будь-якому напрямку завдяки капілярним силам [7, 13, 14].

Дисперсність будь якого ґрунту оцінюється як за вмістом частинок різноманітного розміру (тобто гранулометричним складом), так і за формою та якістю поверхні ґрунтових частинок.

Поверхня ґрунтових частинок може володіти різною активністю, вбираючи з різною інтенсивністю присутні речовини – водяну пару чи газ. Знання щодо механізму такого процесу поглинання дає змогу приблизно кількісно охарактеризувати певні властивості дисперсності ґрунту [31, 32].

3.3.1 Вплив іонів свинцю та кадмію на загальну пористість темно-сірого опідзоленого ґрунту

Пористість ґрунту в значній мірі впливає на кількість поллютантів, які потрапляють до рослини, визначальним є і розмір пор та одночасно кліматичні особливості регіону.

Досліджувалися зразки темно-сірого опідзоленого ґрунту, який відбирали з глибини 0 – 10 та 10 – 20 см. Дані результати представлені для зразків, які попередньо були забруднені досліджуваними важкими металами в концентраціях 10 ГДК (свинець – 320 мг/кг і кадмій – 30 мг/кг ґрунту).

Здатність ртуті щодо проникнення в середину ґрунтових зразків є обернено пропорційна до тиску, відповідно заповнення найменших пор спостерігається при найвищому тиску.

На даному рисунку 3.7 представлено кумулятивні криві об'єму пор для зразків ґрунту, які забруднені свинцем та кадмієм.

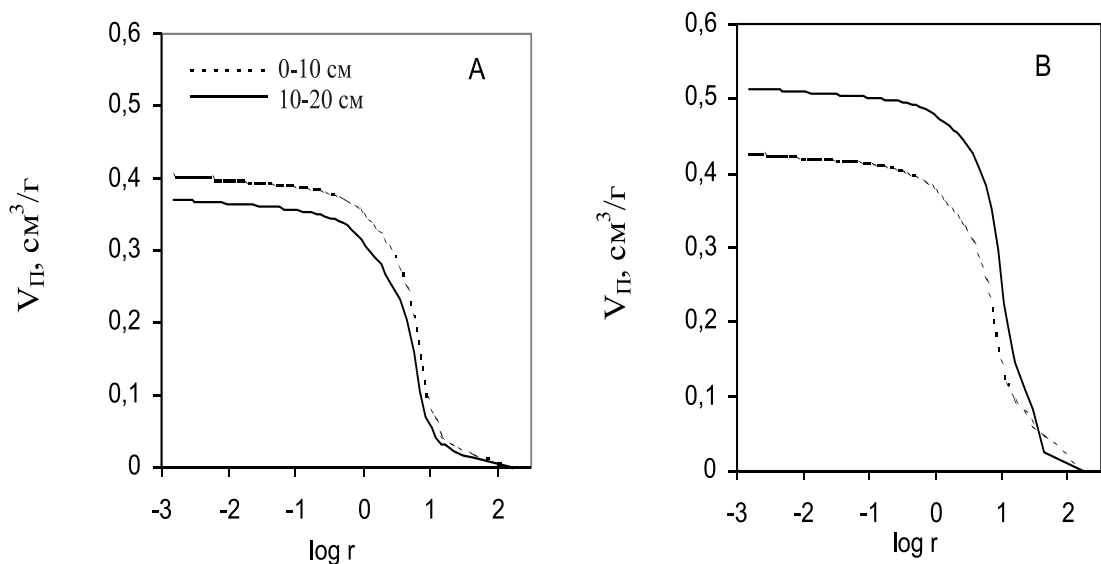


Рисунок 3.7 – Кумулятивна крива об'єму пор для зразків темно-сірого опідзоленого ґрунту, забрудненого Pb^{2+} (A) і Cd^{2+} (B)

де: V_p – об'єм пор

r – радіус пор

Така кумулятивна крива об'єму пор дозволяє отримати інформацію щодо загального об'єму ртуті, яка накопичилася порами відповідно до їх розміру. Вченими встановлено чіткий поділ ґрунтових пор за розміром [37].

Отже, крива, яку ми отримали у результаті дослідження не забрудненого важкими металами ґрунту, є досить подібною до кривої, яку отримано після вивчення зразків ґрунту, які були забруднені свинцем; дещо іншою є крива для зразків ґрунту, у який було внесено кадмій. Помітні певні відмінності поміж кривими залежно від загальної кількості ртуті, яка накопичилася у порах.

Встановлено, що поведінка свинцю і кадмію в досліджуваному ґрунті є дещо різна. Об'єм пор коливався в межах від 370 мм³/г до 515 мм³/г. Досліджуваний показник був вищим для зразків ґрунту, які забруднені кадмієм (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Параметри структури пор темно-сірого опідзоленого ґрунту, забрудненого свинцем і кадмієм

Глибина відбирання зразків ґрунту, см	Загальний об'єм пор, мм ³ /г	Загальна площа пор, м ² /г	Середній діаметр пор, нм	Масова густина, г/мл	Пористість, %
Контроль					
0-10	420	3,50	481,1	1,223	51,42
10-20	411	3,74	438,8	1,244	51,09
320 мг/кг ґрунту Pb²⁺					
0-10	404	3,60	448,3	1,259	50,83
10-20	370	3,72	398,2	1,300	48,13
30 мг/кг ґрунту Cd²⁺					
0-10	426	3,44	495,3	1,211	51,63
10-20	515	3,73	552,2	1,100	56,61

Зразки, що були забруднені свинцем і кадмієм, помітно відрізнялися за значенням параметрів, що досліджувалися відносно глибини – верхній і нижній шар. Показник об'єму пор зменшувався із збільшенням глибини у зразках, які зазнали свинцевого навантаження, і навпаки збільшувався у зразках, які забруднені кадмієм (табл. 3.2). Отже, свинець може зменшувати пористість ґрунту відносно контролю, а кадмій – збільшувати.

Встановлено, що значення об'єму пор, а також загальної пористості та середнього радіуса пор є дещо нижчим для забруднених ґрунтів свинцем у порівнянні із зразками, що були піддані кадмієвому навантаженню. Підвищення загальної пористості і одночасне зниження середнього радіуса пор притаманне для ґрунтів з відносно чіткою його пористою структурою. Однак зменшення масової густини для кадмієм забруднених зразків може бути пов'язано і з збільшенням об'єму пор.

Пористість ґрунту безпосередньо залежить від загальної кількості пор, а також і їх розміру. Розподіл пор згідно їх розмірів може представлятися як функція, яка відображає основний аспект пористості ґрунту. Така функція відображена через функцію залежності $dV/d\log R$ відносно до $\log R$ і дає можливість порівняти зразки з мінливим об'ємом пор. На рисунку 3.8 показано розподіл пор різного діаметру для даного ґрунту. Для забрудненого свинцем ґрунту, за розмірами розподіл пор в горизонті 0 – 10 та 10 – 20 см практично був однаковим і характеризувався двома піками [4, 37, 39].

Розподіл пор за розмірами в глибших шарах ґрунту демонстрував тенденцію до зменшення радіуса пор, на відміну від верхнього шару, де пікове значення радіуса становило 6,97 мкм. Якщо для свинцем забруднених зразків відмінності в розподілі пор спостерігалися між різними глибинами, то для кадмієм забруднених ця відмінність була виявлена між двома конкретними глибинами (рис. 3.8 В). Розподіл пор у кадмієм забрудненому ґрунті мав один пік у верхньому шарі та два піки на глибині 10-20 см, причому форма останнього нагадувала розподіл, характерний для свинцем забрудненого ґрунту (рис. 3.8 А).

Попри це, максимальне значення функції розподілу пор для ґрунту,

забрудненого кадмієм, становило 10,66 мкм, а другий пік досягав 45,32 мкм. Важливо відзначити, що як сама функція розподілу пор, так і її максимальне значення були вищими для зразків ґрунту з кадмієм, ніж зі свинцем. У зразку свинцем забрудненого ґрунту з глибини 0-10 см було виявлено лише один пік розподілу пор, що припадав на 8,63 мкм.

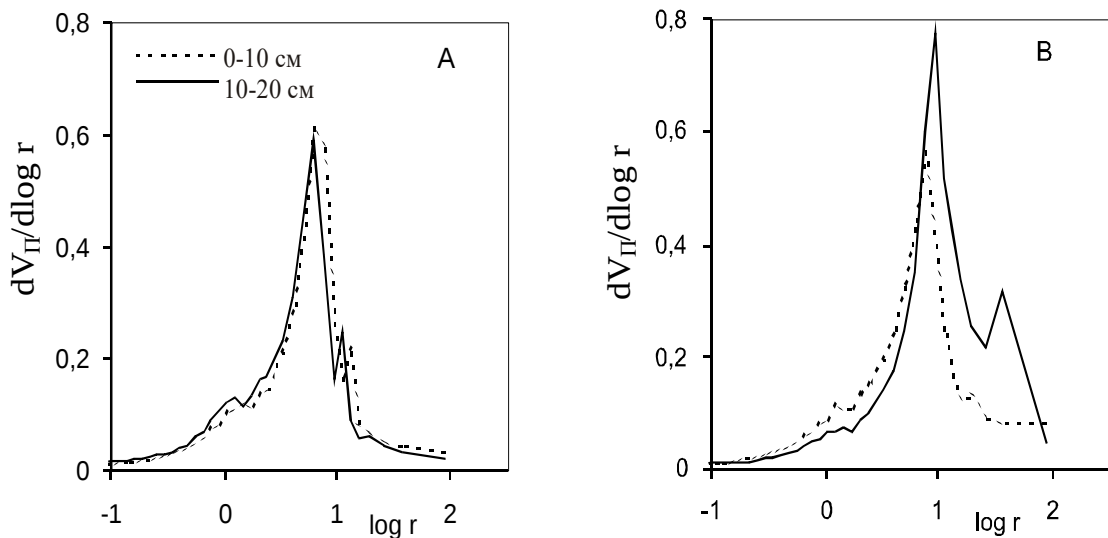


Рисунок 3.8 – Розподіл пор згідно їх розмірів для темно-сірого опідзоленого ґрунту, забрудненого свинцем (А) і кадмієм (В)

де: V_{Π} – об'єм пор;

r – радіус пор

На основі кривих розподілу пор можна зробити висновок про більшу пористість та розмір пор у ґрунті, забрудненому кадмієм, порівняно зі свинцевим забрудненням, що узгоджується з даними про діаметр та площу пор (табл. 3.8).

У свинцем забруднених ґрунтах переважали пори, що утримують доступну для рослин воду (91–93%), тоді як на дрібні пори (<0,5 мкм) припадало лише 7–9%. За іншою класифікацією, вони склалися на 97–98% з макропор і на 2–3% з мезопор. Натомість, у кадмієм забруднених ґрунтах частка пор з доступною водою була трохи вищою (93–95%), або ж вони на 98% склалися з

макропор і на 2% з мікропор, що свідчить про більш розвинену пористу структуру.

Встановлено, що зразки ґрунту, які забруднені кадмієм, володіють вищим значенням фактично усіх показників: розмір пор, радіус пор, загальна пористість, кількість пор різних видів тощо.

Існували відмінності у кривих розподілу пор за розмірами між ґрунтами, забрудненими свинцем та кадмієм. Досліджуючи адсорбцію кадмію в ґрунті, вчені виявили два ключові механізми цього процесу. При низьких концентраціях кадмію (0,001 – 10 мг/л) домінує спеціальна сорбція, тоді як при високих концентраціях (100 – 1000 мг/л) адсорбція відбувається за рахунок обмінних реакцій. Вивчення десорбції кадмію, внесеного в малих кількостях, показало його стійкість до впливу 0,05 М розчину CaCl_2 . Крім того, вміст кальцію в ґрунті певною мірою визначається концентрацією кадмію.

Отримані результати дозволяють стверджувати, що відмінності у впливі свинцю та кадмію на пористість темно-сірого опідзоленого ґрунту зумовлені різною хімічною природою цих металів та характеристиками самого ґрунту. Аналіз показує вищу активність розчину в ґрунті, забрудненому кадмієм, порівняно зі свинцем, що вказує на більшу мобільність кадмію в довкіллі.

3.3.2 Вплив свинцю та кадмію на питому поверхню темно-сірого опідзоленого ґрунту

Із показником питома поверхня ґрунту зв'язані найважливіші його як фізичні, хімічні так і фізико-хімічні та біологічні властивості. Наприклад від дисперсності ґрунту залежить, здатність ґрунту вбирати поживні речовини, сорбувати гази чи пари води, зберігати певну кількість води у вільному стані. Залежать від питомої поверхні і теплові та повітряні умови у самому ґрунті [4, 44].

Речовини, що покращують властивості ґрунту або впливають на його структуру, такі як сольові та оксидні мінеральні компоненти, а також

забруднюючі речовини різного походження, в тому числі важкі метали, можуть значно модифікувати поверхневі характеристики ґрунтів. Це стосується співвідношення активних центрів, здатності ґрунту утримувати воду (гідрофільності) та його структурної організації. Зокрема, при потраплянні важких металів у ґрунт виникає неоднорідність активних центрів на його поверхні, що зумовлює специфічну та складну конкурентну взаємодію між різними іонами.

Сам механізм взаємодії між важкими металами та ґрунтом є складним і навіть суперечливим, що підтверджує актуальність вивчення особливостей їх впливу на поверхневі властивості ґрунту, виявлення механізмів впливу ввібраного свинцю і кадмію на питому поверхню досліджуваного ґрунту.

У таблиці 3.3 наведені результати щодо величини питомої поверхні темно-сірого опідзоленого ґрунту, забрудненого свинцем та кадмієм в дозі 10 ГДК.

Таблиця 3.3 – Питома поверхня темно-сірого опідзоленого ґрунту, забрудненого свинцем та кадмієм у дозі 10 ГДК, м²/г

Варіант	Глибина відбирання зразків ґрунту, см					
	0 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 50	50 – 60
Контроль	30,09	30,41	26,83	30,43	33,87	38,74
10 ГДК Pb ²⁺	28,89	29,75	29,82	31,18	32,98	37,17
НІР ₀₅ , м ² /г	0,24	0,68	1,28	0,65	1,04	0,91
10 ГДК Cd ²⁺	30,53	30,68	30,22	37,64	37,76	36,46
НІР ₀₅ , м ² /г	0,43	0,07	0,63	0,48	0,59	0,46

Свинець має властивість, як і ряд інших важких металів, надзвичайно міцно вбиратися ґрунтами. В результаті чого змінюються як і рухомість свинцю, так і його доступність рослинам і відповідно токсичність, а також і властивості поверхні самих ґрунтових частинок, що на собі адсорбують метал [34, 44].

Отже, як свідчать дані у таблиці 3.3, величина питомої поверхні даного ґрунту насамперед залежить від його рівня забруднення.

В орному шарі ґрунту цей показник на варіанті 10 ГДК Pb^{2+} є нижчим за контроль. Збільшення вмісту свинцю у ґрунті до дози 10 ГДК стало причиною незначного підвищення значення даного показника на глибині до 40 см.

Доведеним є факт, що утворення різноманітних сполук хімічного походження у ґрунті може відбуватися при взаємодії катіонів важких металів з органічною та мінеральною складовою ґрунту. За умови взаємодії з оксидами – гідроксидами Fe і Mn та цеолітами спостерігається необмінне зв'язування іонів свинцю. Зазвичай ґрунтова органічна речовина має здатність утворювати певні комплекси з іонами свинцю, де частина катіонів здатна заміщатися іншими іонами за принципом механізму іонного обміну [15, 40, 41].

На двох варіантах дослідів зафіксоване різке збільшення показника питомої поверхні на глибині 40 – 60 см, яка у порівнянні з орним шаром, до прикладу, на контролі, збільшилася від 30,25 до 36,30 m^2/g . Проте варіант дослідів 10 ГДК Pb^{2+} відрізнявся більшою питомою поверхнею, яка була рівна 37,48 m^2/g . Зафіксоване загальне збільшення питомої поверхні ґрунту на характеризованій глибині, швидше за все, пов'язане з наявністю в даному шарі карбонатів.

Як зазначається в деяких літературних джерелах [9, 11, 14], певні зміни в структурі ґрунту за умов впливу відносно високих доз Pb^{2+} можуть бути пов'язані з процесами типу коагуляційного структуроутворення вискодисперсних ґрунтових частинок внаслідок певних змін їх поверхневих властивостей у результаті адсорбції.

Кадмій, який внесли у ґрунт у дозі в концентрації 30 мг/кг, в кореневмісному шарі не чинив негативної дії на характеризований показник, який був практично на одному рівні з показником на контрольних ділянках. Підвищення показника питомої поверхні спостерігається на глибині 30 см і є найвищим в шарі 40 – 50 см.

Дослідження темно-сірого опідзоленого ґрунту, забрудненого свинцем і кадмієм, виявили, що збільшення концентрації цих важких металів погіршує

властивості ґрунту та негативно впливає на ріст рослин. Зокрема, встановлено, що насичення ґрунту іонами свинцю зменшує його здатність поглинати вологу, тоді як іони кадмію її збільшують.

Отже, забруднення ґрунту важкими металами призводить до змін його хімічного складу, структури та водно-фізичних характеристик, що ускладнює надходження поживних речовин до рослин і, як наслідок, уповільнює їхній розвиток [15, 38, 39, 44].

На підставі отриманих даних можна стверджувати, що формування різноманітних поверхневих сполук у ґрунті, забрудненому важкими металами, відображається на його хімічних, структурних і водно-фізичних характеристиках, що в кінцевому підсумку впливає на засвоєння рослинами мінеральних елементів та їх подальший ріст і розвиток. При цьому, наші дослідження показали, що низькі рівні забруднення свинцем не впливають на стійкість ґрунтових суспензій, подібно до контрольних зразків.

Посилаючись на роботу Г. Н. Курочкіної, інтенсивна коагуляція суспензій незабрудненого ґрунту відбувається лише при концентрації свинцю, що перевищує 1000 мг/кг, які не застосовувалися в нашому експерименті.

Отже, досліджувані важкі метали, які були імпактно внесені в темно-сірий опідзолений ґрунт мають властивість змінювати питому поверхню, безпосередньо, зменшувати, у випадку свинцевого забруднення, і навпаки збільшувати за умови кадмієвого забруднення, починаючи з глибини 20 см. За умови як свинцевого, так і кадмієвого навантаження ґрунту, відмічалось чітке підвищення досліджуваного показника на глибині 20 – 30 см.

Однак і результати проведених наших досліджень, і наявні дані у літературних джерел вказують на те, що, поряд з впливом важких металів, різноманітність питомої поверхні ґрунту, залежить і від вмісту гумусу, гранулометричного та мінерального складу ґрунту.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Шкідливі та небезпечні фактори при виконанні весняно-польових робіт

Основним нормативно-правовим актом, який регламентує безпечне виконання робіт у сільськогосподарському виробництві, є Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві, затверджені наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 26 листопада 2012 р. № 1353 [21].

Умови праці у сільськогосподарському виробництві мають певні особливості. Здебільшого польові роботи виконуються на значній відстані від центральної садиби і тракторної бригади. Через це знижується контроль за безпекою працівників з боку адміністрації господарства. У цих умовах підвищується особиста відповідальність механізаторів за безпеку проведення робіт.

Разом з тим поживляються й інші роботи в агропромисловому виробництві. Зростає, порівняно із зимовими місяцями, кількість зайнятих на ручних роботах працівників, насамперед на технологічному обслуговуванні та забезпеченні роботи посівних та інших машинно-тракторних агрегатів.

Все це об'єктивно збільшує вірогідність травматизму, особливо при недотриманні правил техніки безпеки та охорони праці й неналежній організації робіт [25].

Основними шкідливими та небезпечними факторами при проведенні весняно-польових робіт з використанням тракторів і самохідних сільськогосподарських машин є:

- технічна несправність тракторів і сільськогосподарських машин;
- виконання робіт в охоронних зонах ліній електропередач;
- виконання робіт на відкритому повітрі, при підвищеній або низькій температурі повітря;
- підвищений рівень шуму та вібрацій;

- підвищена забрудненість повітря ґрунтовим пилом;
- наявність отрутохімікатів;
- схили полів, наявність перешкод у вигляді ям, ярів;
- рухомі агрегати;
- пожежна небезпека;
- нервово-психічні перевантаження.

При роботі з причіпною сільськогосподарською технікою можливі такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- рухомі частини машин: причіпні (навісні) пристрої, робочі органи, пружини, механізми передачі руху, колеса тощо;
- робоча рідина гідравлічної системи сільськогосподарських машин;
- підвищена концентрація пилу від мінеральних добрив в повітрі робочої зони;
- несприятливі метеорологічні умови [29].

Фізичні фактори:

Рухомі машини та механізми: Трактори, сівалки, культиватори, обприскувачі та інша сільськогосподарська техніка є джерелом підвищеної небезпеки. Неправильна експлуатація, порушення правил технічного обслуговування, несправність машин, а також необережність працівників можуть призвести до травмування внаслідок наїзду, перекидання, защемлення рухомими частинами.

Падіння предметів та інструментів: Під час виконання ремонтних робіт, підготовки техніки до роботи, а також при транспортуванні матеріалів існує ризик падіння інструментів, запасних частин та інших предметів, що може спричинити удари, забої та інші травми.

Підвищений рівень шуму та вібрації: Робота сільськогосподарської техніки супроводжується значним рівнем шуму та вібрації, які при тривалій дії можуть призвести до розвитку професійних захворювань, таких як зниження слуху, вібраційна хвороба, захворювання опорно-рухового апарату та нервової системи.

Несприятливі мікрокліматичні умови: Весняні польові роботи часто проводяться в умовах нестабільної погоди, що може включати різкі перепади температур, вплив прямих сонячних променів, вітру, дощу. Тривале перебування на відкритому повітрі за таких умов може призвести до перегрівання, переохолодження, сонячних опіків, теплових ударів.

Запиленість повітря робочої зони: Під час обробітку ґрунту, сівки, внесення сухих добрив та інших операцій у повітря робочої зони виділяється значна кількість пилу (ґрунтового, рослинного, мінерального), який при вдиханні може викликати захворювання органів дихання (бронхіти, пневмоконіози, алергічні реакції).

Електробезпека: Використання електрифікованого обладнання, проведення ремонтних робіт з електроінструментом, а також випадкове пошкодження ліній електропередач можуть становити загрозу ураження електричним струмом.

Біологічні фактори:

Патогенні мікроорганізми: Контакт з ґрунтом, рослинами, органічними добривами може призвести до зараження різними інфекційними та паразитарними захворюваннями (правець, лептоспіроз, гельмінтози, грибкові ураження шкіри).

Отруйні рослини та комахи: На полях можуть зустрічатися отруйні рослини (наприклад, борщівник), контакт з якими викликає опіки шкіри. Укуси комах (бджіл, ос, кліщів) можуть призвести до алергічних реакцій, а також бути переносниками небезпечних захворювань (хвороба Лайма, кліщовий енцефаліт).

Алергени: Пил від рослин (пилок), спори грибів, шерсть тварин (при роботі на тваринницьких фермах) можуть викликати алергічні реакції у чутливих працівників.

Організаційні та психофізіологічні фактори:

Фізичні та нервово-психічні перевантаження: Тривала робота на відкритому повітрі, виконання монотонних операцій, необхідність прийняття

швидких рішень в умовах обмеженого часу можуть призвести до фізичної втоми, перенапруження нервової системи, стресів.

Неправильна організація робочого місця: Недостатнє освітлення, незручне розташування органів управління технікою, відсутність засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) або їх неправильне використання можуть підвищувати ризик травматизму та розвитку професійних захворювань.

Недостатня кваліфікація та навчання: Відсутність необхідних знань та навичок з безпечного виконання робіт, ігнорування інструкцій з охорони праці є однією з основних причин нещасних випадків.

Урахування та своєчасне усунення або мінімізація впливу зазначених шкідливих та небезпечних факторів є запорукою збереження здоров'я та працездатності працівників, зайнятих у весняно-польових роботах, та підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва в цілому. Подальші розділи кваліфікаційної роботи будуть присвячені аналізу існуючих заходів з охорони праці та розробці рекомендацій щодо їх удосконалення.

4.2 Вимоги безпеки під час використання пестицидів та мінеральних добрив

Транспортування, зберігання та застосування пестицидів потрібно здійснювати з дотриманням вимог Закону України «Про пестициди і агрохімікати» та інших нормативно-правових актів у частині безпечного здійснення робіт із транспортування, зберігання та застосування пестицидів.

Роботи, пов'язані з підготовкою мінеральних добрив до внесення у ґрунт, треба здійснювати за допомогою механізмів, оснащених пристроями для зниження пилоутворення. Працівники мають використовувати відповідний спецодяг, спецвзуття та засоби індивідуального захисту органів дихання та зору [29].

Не дозволяється:

У темний час доби здійснювати роботи, пов'язані з транспортуванням аміаковмісних мінеральних добрив, приготуванням розчинів, змішуванням їх та внесенням у ґрунт.

Транспортувати разом різні види пестицидів, хімічна взаємодія яких у разі порушення герметичності упаковки може спричинити займання.

Перевозити пестициди та протруєне насіння разом із біологічними засобами захисту рослин, харчовими і кормовими продуктами та іншими вантажами, а також із людьми.

Використовувати для зберігання продуктів, фуражу, води тощо тару від мінеральних добрив, навіть після її знешкодження (зnezаражування). Тара з-під мінеральних добрив утилізується згідно з вимогами природоохоронного законодавства.

У машинах, які застосовуються для роботи з пестицидами, усі з'єднання магістралей переміщення пестицидів (фланці, затички, штуцери, ніпелі, люки тощо) повинні мати ущільнювальні прокладки. Не дозволяється готувати розчини пестицидів безпосередньо в полі без засобів механізації.

Працівникам не дозволяється перебувати у зоні можливого руху маркерів або навісних машин під час розвертання машинно-тракторних агрегатів. Під час руху агрегату не допускається одночасне обслуговування одним працівником двох або більше сівалок. Завантаження сівалок і садильних машин насінням, садильним матеріалом та добривами має бути механізованим. Ручне завантаження дозволяється лише за умови зупинення посівного або садильного агрегату та вимкнення двигуна трактора.

Заміну, очищення і регулювання робочих органів навісних машин і знарядь, які підняті, потрібно проводити тільки спеціальними чистками в рукавицях із зупиненим, загальмованим агрегатом та вимкнутим двигуном і вжиттям заходів, що запобігають їх самовільному опусканню.

Працівникам заборонено підніматися на або спускатися з машин під час їх руху. Не дозволяється сівачам працювати на навісних сівалках [22, 24].

ВИСНОВКИ

1. Через інтенсивну господарську діяльність людини, яка спричиняє численні зміни в складних природних системах, проблема забруднення агроландшафтів важкими металами з кожним роком стає дедалі актуальнішою.

2. Згідно наших досліджень, фоновий вміст свинцю – валові форми, на контрольних ділянках в 0 – 20 см шарі був на рівні 12,7, а кадмій – 0,90 мг/кг ґрунту.

3. Встановлено, що кореневий шар темно-сірого опідзоленого ґрунту має здатність накопичувати свинець і кадмій. Подібні акумулятивні властивості спостерігаються й в ілювіальному горизонті. У ґрунтовому профілі кадмій фіксується слабше порівняно зі свинцем.

4. Кадмій проявляє вищу мобільність у темно-сірому опідзоленому ґрунті порівняно зі свинцем. За умов дослідженого рівня забруднення з кореневого шару ґрунту у витяжку ацетатно-амонійного буфера з рН 4,8 переходило у середньому 10 % свинцю та від 24,9 до 49,7 % кадмію від їх загального вмісту.

5. Дослідження показали, що зразки ґрунту, забруднені свинцем і кадмієм у концентрації 10 ГДК, демонструють різні показники загального об'єму пор, середнього діаметра пор та пористості. У випадку забруднення свинцем об'єм пор зменшується з глибиною, тоді як при забрудненні кадмієм — навпаки, зростає. Встановлено, що свинець сприяє зниженню пористості темно-сірого опідзоленого ґрунту, а кадмій, навпаки, спричиняє її збільшення.

6. Встановлено, що зразки ґрунту, які забруднені кадмієм, володіють вищим значенням фактично усіх показників: розмір пор, радіус пор, загальна пористість, кількість пор різних видів тощо.

7. З'ясовано, що питома поверхня ґрунту змінюється залежно від рівня забруднення та типу полютанта. Катіони свинцю мають властивість зменшувати сорбційну здатність ґрунту, тоді як катіони кадмію її підвищують. Основною причиною збільшення питомої поверхні, особливо в шарі 50–60 см, є наявність карбонатів у ґрунтовій масі.

8. Щоб сприяти переведенню полютантів з рухомих форм у фіксовані, менш доступні для рослин сполуки, рекомендується застосування комплексу агротехнічних заходів, зокрема глибокої оранки, а також підтримання буферних властивостей ґрунту на оптимальному рівні.

9. Для отримання безпечної сільськогосподарської продукції на темно-сірих опідзолених ґрунтах, забруднених свинцем і кадмієм у концентраціях, що перевищують 10 ГДК, у західному Лісостепу України доцільно:

- а) виводити орні землі з інтенсивного сільськогосподарського використання;
- б) вирощувати культури, стійкі до дії важких металів.

10. Господарствам західного Лісостепу України варто орієнтуватися на встановлені нами граничні рівні забруднення темно-сірого опідзоленого ґрунту свинцем і кадмієм, за яких ще можливо отримувати екологічно безпечний урожай ярого ячменю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антоніадіс В., Шахін С. М., Бьорш Дж. та ін. Біодоступність і оцінка ризику потенційно токсичних елементів у садових їстівних овочах і ґрунтах навколо забрудненої гірничодобувної території в Німеччині // *Journal of Environmental Management*. 2017. Т. 186. С. 192–200.
2. Березюк О.В., Лемешев М.С., Дудар І.Н. Регресійний аналіз концентрації свинцю в ґрунтах на відстані від полігонів твердих побутових відходів // *Наукові праці ВНТУ*. 2022. № 4. 6 с.
3. Болан Н., Кунхікрішнан А., Тхангараджан Р. та ін. Ремедіація ґрунтів, забруднених важкими металами: мобілізувати чи іммобілізувати? // *Journal of Hazardous Materials*. 2017. Т. 324. С. 379–407.
4. Булигін С.Ю., Вітвіцький С.В. Агрофізика ґрунту: підруч. Київ: Ви-во НУБіП України, 2021. 315 с.
5. Вісник Львівського національного університету природокористування : агрономія. 2023. № 27. 319 с.
6. Вітвіцький С.В., Богданович Р.П., Капштик М.В., Пляха М.Г. Ґрунтознавство з основами геології: підруч. Київ: НУБіП України, 2017. 489 с.
7. Гаськевич В.Г., Папіш І.Я., Телегуз О.Г. Фізика ґрунтів. Лаборат. практ. / навч. посіб. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2021. 170 с.
8. Гіллер К. Е., Віттер Е., Макґрат С. П. Важкі метали та ґрунтові мікроорганізми // *Soil Biology and Biochemistry*. 2021. № 88. С. 299–309.
9. Гришко В. М., Сищиков Д. В., Піскова О. М. та ін. Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна безпека. Донецьк: Донбас, 2012. 304 с.
10. Дидів А. І., Качмар Н. В. Вплив удобрення та меліорантів на рухомість важких металів у ґрунті та їх нагромадження у рослинах буряка столового. Теоретичні і практичні аспекти розвитку галузі овочівництва в сучасних умовах: матеріали II міжнародної наук.-практ. конференції

(с. Селекційне Харківської обл., 25 липня 2019 р.). Інститут овочівництва і баштанництва НААН. Харків: Плеяда, 2019. С. 26–27.

11. Жалій Б. О., Кузнецова Т. Ю. Важкі метали в ґрунті та їх вплив на організм людини // XVI Менделєєвські читання: Збірник наукових праць Всеукраїнської наук-практ конф., (Полтава, 14 – 15 березня 2023 р.). Полтав. нац. пед. ун-т ім. В. Г. Короленка [та ін.] Полтава: Редакційно-видавничий відділ ПНПУ імені В. Г. Короленка. 2023. С. 21–22.

12. Звіт про стан навколишнього природного середовища в Україні. (2022). Київ: Міністерство екології та природних ресурсів України.

13. Елловей, Б. Дж. Важкі метали в ґрунтах: мікроелементи та металоїди в ґрунтах і їх біодоступність. Berlin: Springer, 2018. 620 с.

14. Кабата-Пендіас А. Мікроелементи від ґрунту до людини. Berlin: Springer, 2015. 550 с.

15. Качмар Н. В., Дацко Т. М., Мазурак О. Т. Вплив іонів свинцю та кадмію на питому поверхню темно-сірого опідзоленого ґрунту. Вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Ветеринарні науки, сільськогосподарські науки. Львів, 2013. Т. 15, № 1 (55). С. 62–67.

16. Качмар Н. В. Мазурак О. Т. Вплив плюмбуму та кадмію на окремі біохімічні показники ячменю ярого. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XX Міжнародного наук.-практ. форуму* (м. Львів, 17–19 вересня 2019 р.). Львів: Ліга-Прес, 2019. С. 154–157.

17. Кхан С., Заффар Х., Шахназ М. Оцінка забруднення ґрунтів важкими металами та його вплив на мікробну біомасу та ферментативну активність // *Chemosphere*. 2018. Т. 200. С. 121–129.

18. Лі С., Фен Л., Чжан Ю., Ван Ю. Вплив важких металів на ґрунтові мікробні спільноти та гени стійкості бактерій у рисових ґрунтах // *Environmental Research*. 2020. Т. 188. С. 109822.

19. Булигін С.Ю., Вітвіцький С.В., Буланий О.В., Тонха О.Л. Моніторинг якості ґрунтів: підруч. Київ: Видавництво НУБіП України, 2019. 421с.
20. Мошинський В. С., Бухальська Т. В., Ліщинський А. Г., Наконечна Ж. В. Моніторинг та охорона земель. Практикум: навч. посіб. / Вид. 2-ге, перероб. та доповн. Рівне: НУВГП, 2019. 202 с.
21. Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві [Електронний ресурс] : наказ МНС України від 26 листопада 2012 року № 1353.
22. Полукаров О. І. Охорона праці та цивільний захист: конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальностями 131-«Прикладна механіка», 133-«Галузеве машинобудування». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 289 с.
23. Снітинський В. В., Дидів А. І., Качмар Н. В., Дацко Т. М., Іванків М. Я. Вплив кадмію на біологічну та ферментативну активність ґрунту за вирощування буряка столового залежно від застосування добрив та меліорантів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія. Львів, 2021. № 25. С. 9–18.
24. Сухий П.О., Сабадаш В.І., Сендзік Ю.І. Цивільний захист та охорона праці в галузі: навч.посіб. Чернівці : Чернівець. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2023. 170с.
25. Ткачук К. Н., Зацарний В. В., Зеркалов Д. В. Основи охорони праці. Київ: Основа, 2014. 456 с.
26. Тот Г., Германн Т., Да Сільва М. Р., Монтонарелла Л. Важкі метали в сільськогосподарських ґрунтах Європейського Союзу та їх вплив на безпеку харчових продуктів // Environment International. 2016. Т. 88. С. 299–309.
27. Чжао, Ф. Дж., Ма, Ю., Чжу, Ю. Г. та ін. Забруднення ґрунтів у Китаї: сучасний стан та стратегії пом'якшення наслідків // Environmental Science & Technology. 2015. Т. 49, № 2. С. 750–759.

28. Чибуйке Г. У., Обіора С. С. Ґрунти, забруднені важкими металами: вплив на рослини та методи біоре mediaції // *Applied and Environmental Soil Science*. 2019. Т. 2019. С. 1–12.
29. Шудренко І. В. Охорона праці в галузі : навч. посіб. Житомир : ЖНАЕУ, 2017. 136 с.
30. Щербаченко О.І. Важкі метали як токсичний фактор забруднення природного середовища. Стійкість і адаптація рослин до їх впливу. *Наукові записки Державного природознавчого музею*. Випуск 30. Львів, 2014. С.157–182.
31. Appel C., Ma L. Concentration, pH, and surface charge effects on cadmium and lead in three tropical soils. *Journal Environmental Quality*. 2020, 31 (2). P. 581–589.
32. Bin H., Zaijian Y., Dingqiang L., Mingguo Z., Xiaodong N., Yishan L. Effects of soil particle size on the adsorption, distribution, and migration behaviors of heavy metal(loid)s in soil: a review. *Environmental Science: Processes & Impacts*. 2020, 8.
33. Chiou C. T., Lee J. F., Boyd S. A. The surface area of organic matter. *Environ. Sci. Technol.* 1990. № 24. P. 1164–1166.
34. Du H., Huang Q., Lei M., Tie B. Sorption of Pb(II) by Nanosized Ferrihydrite Organo-Mineral Composites Formed by Adsorption versus Coprecipitation. *ACS Earth and Space Chemistry*. 2018, 2 (6). P. 556–564.
35. Dydiv A.I., Kachmar N. V., Datsko T. M., Bahday T. M. Influence of fertilizers and meliorants on the reduction of Cadmium and Plumbum accumulation in plants *Beta vulgaris* L. *Інноваційні розробки молоді в сучасному овочівництві: матеріали Міжнародної наук.-практ. конф. молодих учених (с. Селекційне Харківської обл., 3 жовтня 2019 р.)*. Інститут овочівництва і баштанництва НААН. Вінниця: ТОВ «Твори», 2019. С. 135–136.
36. Fateev A. I., Samokhvalova V. L., Miroshnychenko M. M., Borodina Ya. V. Diagnostics of the state of chemical elements of the soil-plant system: methodology (in Ukrainian). Kharkiv: KP Miskdruk, 2012. 146 p.
37. Hajnos M. Mercury intrusion porosimetry as compared to other methods

characterizing microstructure of soil materials (in Polish). *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. 1998, 461. P. 523–537.

38. Hrebela N., Szatanik-Kloc A., Sokołowska Z. Wpływ jonów kadmu na pozorną powierzchnię właściwą korzeni jęczmienia (*hordeum vulgare*. L). *Acta Agrophysica* 162. Lublin, 2008. Vol. 12, № 2. S. 337–345.

39. Kachmar N., Datsko T., Ivankiv M., Dydiv A., Panaciuk R. Consequences of the cadmium soil contamination for the physical and chemical status of the dark gray podzolic soil in the western forest-steppe of ukraine. *Вісник Львівського національного університету природокористування: агрономія*. Львів, 2024. № 28. С. 17–23.

40. Kwiatkowska-Malina J. Functions of organic matter in polluted soils: The effect of organic amendments on phytoavailability of heavy metals. *Applied Soil Ecology*. 2018, 123. P. 542–545.

41. Landrot G., Khaokaew S. Lead Speciation and Association with Organic Matter in Various Particle-Size Fractions of Contaminated Soils. *Environmental Science & Technology*. 2018, 52 (12). P. 6780–6788.

42. Palansooriya K. N., Shaheen C. M., Chen S. S., Tsang D., Hashimoto Y., Hou D., Bolan N. S., Rinklebe J., Ok Y. S. Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: A critical review. *Environment International*. 2020, 134. P. 105046.

43. Szatanik- Kloc A., Sokołowska Z., Hrebela N. Wpływ pH w warunkach stresu kadmowego na ładunek powierzchniowy korzeni jęczmienia (*Hordeum vulgare* L.). *Acta Agrophysica* 152. 2007. Vol. 10, № 2. P. 473–482.

44. Szatanik-Kloc A., Sokołowska Z., Hrebela N. Effect of pb-stress of selected physicochemical surface properties of barley (*hordeum vulgare* l.). *International agrophysics. A quarterly journal on physics in environmental and agricultural sciences*. Lublin, 2007. Vol. 21, № 4. P. 399–408.

45. https://www.meteoblue.com/uk/weather/historyclimate/weatherarchive/lviv_ukraine_702550?fcstlength=1y&year=2024&month=4

