

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОЛОГІЇ**

Кафедра *екології*

допускається до захисту

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

к.б.н., доцент, Хірівський П.Р.

наук. ступ., вч. зв. (ініціали та прізвище)

***КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА***

**Бакалавр**

(рівень вищої освіти)

**на тему: «Особливості міграції та акумуляції Cd<sup>2+</sup> у системі «ґрунт-рослина» за умов штучного забруднення темно-сірого опідзоленого ґрунту»**

Виконала: студентка групи Еко-22сп

спеціальності 101 «Екологія»

Макар Наталія Романівна

Керівник: Качмар Н.В. \_\_\_\_\_

Консультант: Ковальчук Ю.О. \_\_\_\_\_

Дубляни 2021

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний аграрний університет  
Факультет агротехнологій та екології  
Кафедра екології  
Рівень вищої освіти «Бакалавр»  
Спеціальність 101 «Екологія»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
доцент, к.б.н., Хірівський П.Р.  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студентки  
Макар Наталії Романівні

1. Тема роботи: **«Особливості міграції та акумуляції Cd<sup>2+</sup> у системі «ґрунт-рослина» за умов штучного забруднення темно-сірого опідзоленого ґрунту»**

Затверджена наказом по університету № \_\_\_\_\_ від “ \_\_\_\_\_ ” 20\_\_ р.

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи 14 травня 2021 р.

3. Вихідні дані для дипломної роботи

Літературні джерела, фізико-географічна та кліматична характеристика району проведення досліджень, методики виконання досліджень

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

### Вступ

Розділ 1 Огляд літератури

1.1. Екологічна ситуація із земельними ресурсами у Львівській області

1.2. Джерела та шляхи надходження кадмію в навколишнє середовище

1.3. Особливості розподілу та трансформації кадмію у ґрунтах

1.4. Ріст і розвиток рослин в умовах кадмієвого забруднення ґрунту

Розділ 2 Умови, об'єкти та методика досліджень

2.1. Ґрунтово-кліматичні та географічні умови місцевості проведення досліджень

2.2. Метеорологічні умови впродовж років проведення досліджень

2.3. Об'єкти, умови та методика проведення польових досліджень

Розділ 3 Результати досліджень

3.1. Характеристика міграційних та акумулятивних особливостей валових форм кадмію за профілем ґрунту

3.2. Рухомі форми кадмію в кореневмісному шарі ґрунту

3.3. Акумулятивні особливості рослин ячменю ярого щодо накопичення в них кадмію

#### Розділ 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

Сформувати 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 екології			
4	Ковальчук Ю.О. доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва АПК			

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2020 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів проекту	При-мітка
1	Написання вступу та розділу “Огляд літератури”	01.09.20– 29.11.20	
2	Написання розділу “Умови, об’єкти та методика досліджень”	30.11.20– 15.01.21	
3	Написання розділу “Результати досліджень”	16.01.21– 15.04.21	
4	Написання розділу “Охорона праці”, формулювання висновків, оформлення списку використаних джерел	16.04.21– 14.05.21	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник кваліфікаційної  
роботи \_\_\_\_\_ Качмар Н.В.  
(підпис)

## УДК 631.963:631.445.2

Особливості міграції та акумуляції  $\text{Cd}^{2+}$  у системі «грунт-рослина» за умов штучного забруднення темно-сірого опідзоленого ґрунту – Макар Н.Р. – Кваліфікаційна робота Бакалавра. Кафедра екології – Дубляни, ЛНАУ, 2021.

50 ст. текст. част., 7 табл., 5 рис., 2 дод., 40 джерел

На основі проаналізованих літературних джерел, зокрема дисертаційних робіт, охарактеризовано проблему накопичення важких металів у ґрунтах та описано наслідки вживання сільськогосподарської продукції, яка вирощена на забруднених агроугіддях. Одним з найрозповсюдженіших полютантів ґрунтового середовища є кадмій, який знаходячись у ґрунті здатний змінювати фізико-хімічні властивості самого ґрунту, а також рослин, підстилки, чинити негативний вплив на мікро- і мезофауну, гальмувати процеси розкладу органічної речовини і сповільнювати колообіг поживних елементів.

На основі отриманих результатів досліджень встановлено, що зерно ячменю ярого є екологічно безпечним лише за умови його вирощування на ґрунтах, які забруднені кадмієм у дозі, яка є меншою за 5ГДК. Найінтенсивніше досліджуваний полютант поглинається тест-рослиною у фазі цвітіння і основна його кількість накопичується у підземній частині рослини. Кадмій у ячмені перерозподіляється наступним чином: корені>зерно>солома (5 і 10 ГДК), а на контролі і на варіанті 1 ГДК  $\text{Cd}^{2+}$ : корені > солома> зерно.

У зв'язку з цим виникає необхідність постійного моніторингу за вмістом важких металів в ґрунтах, які виступають їх джерелом для інших компонентів ландшафту та живих організмів. Проблему надходження надмірних кількостей сполук важких металів у агроландшафти, поруч з іншими екологічними небезпеками, слід вирішувати на загальнодержавному рівні, створюючи нову філософію екологічної свідомості людини для невідкладної зміни антиприродного курсу розвитку людства.

Розроблено питання охорони праці під час виконання польових робіт.

# ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	6
<b>РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ</b>	8
1.1 Екологічна ситуація із земельними ресурсами у Львівській області	8
1.2 Джерела та шляхи надходження кадмію в навколишнє середовище	11
1.3 Особливості розподілу та трансформації кадмію у ґрунтах	12
1.4 Ріст і розвиток рослин в умовах кадмієвого забруднення ґрунту	14
<b>РОЗДІЛ 2 УМОВИ, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	17
2.1 Ґрунтово-кліматичні та географічні умови місцевості проведення досліджень	17
2.2 Метеорологічні умови впродовж років проведення досліджень	19
2.3 Об'єкти, умови та методика проведення польових досліджень	21
<b>РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	24
3.1 Характеристика міграційних та акумулятивних особливостей валових форм кадмію за профілем ґрунту	24
3.2 Рухомі форми кадмію в кореневмісному шарі ґрунту	30
3.3 Акумулятивні особливості рослин ячменю ярого щодо накопичення в них кадмію	33
<b>РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	40
4.1. Шкідливі та небезпечні фактори при виконанні весняно-польових робіт	40
4.2. Вимоги безпеки під час використання пестицидів та мінеральних добрив	41
<b>ВИСНОВКИ</b>	43
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	44
<b>ДОДАТКИ</b>	49

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Ґрунти здатні акумулювати небезпечні кількості різноманітних екополютантів, які можуть брати участь у процесах кругообігу речовин в біосфері, а отже спричиняти токсичний вплив, який є загрозливим як для довкілля в цілому, так і для кожної людини безпосередньо. Техногенний вплив на різні види середовища біосфери з різною інтенсивністю діє на них.

Найінтенсивнішого техногенного навантаження зазнає ґрунтовий покрив глибиною до 0,5 м. Згідно даних ряду літературних видань, впливає, що ґрунти, зокрема найбільш гумусована їх складова, часто є тимчасовим або й основним їх сховищем [6, 11, 18, 40].

Для виявлення екологічних ризиків, спричинених забрудненням ґрунтів важкими металами, необхідні ґрунтовні знання їх поведінки в системі ґрунт-рослина. Загальнодержавним завданням є реалізація програми щодо впровадження оздоровчих заходів у регіонах, де ця проблема набула загрозливих масштабів.

Накопичення важких металів у довкіллі стало причиною виникнення проблеми, яка набула загрозливих масштабів. Збільшення антропогенного навантаження на довкілля у більшій частині сільськогосподарських угідь вміст свинцю та кадмію перевищує значення ГДК, хоч їх природній вміст у ґрунтах здебільшого є нижчим за даний показник.

Особливе занепокоєння викликає накопичення важких металів у кореневмісному шарі ґрунту. Тому з метою недопущення забруднення харчової продукції необхідно володіти знаннями щодо особливостей процесів міграції та акумуляції досліджуваного полютанта за горизонтами темно-сірого опідзоленого ґрунту [6, 7, 31, 40].

**Мета і завдання дослідження.** Метою проведення нашого дослідження було встановлення адаптивних особливостей системи “ґрунт-рослина” за умов їх техногенного навантаження кадмієм у межах зони західного Лісостепу України.

**Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі завдання:**

- встановити особливості та закономірності вертикального перерозподілу валових форм кадмію за профілем темно-сірого опідзоленого ґрунту та виявити його накопичувальні властивості щодо досліджуваного екотоксиканта;
- встановити частку рухомих форм у валовому вмісті кадмію в орному шарі досліджуваного ґрунту;
- вивчити специфіку та інтенсивність нагромадження тест-полютанта ячменем ярим, який проростав на штучно забрудненому ґрунті (різні варіанти забруднення);

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

## 1.1 Екологічна ситуація із земельними ресурсами у Львівській області

За потужністю економічного, наукового, культурного потенціалу Львівщина посідає провідне місце в Україні. Так, виробляє чотири відсотки національного доходу держави (8 місце серед областей країни).

Земельний фонд області становить 2183,1 тис. га, з яких 1270,2 тис. га зайнято сільськогосподарськими угіддями, з них рілля – 799,1 тис. га. У власності та користуванні громадян знаходиться 826,3 тис. га земель, 117,8 тис. га земель знаходиться у користуванні промислових підприємств, організацій транспорту зв'язку та військових частин, підприємств, навчальних закладів оборони. За площею область займає 17 місце в Україні, а за кількістю населення – четверте місце після Донецької, Дніпропетровської та Харківської областей. Площа порушених земель, на яких необхідне проведення рекультивації, на території області становить 12,6 тис. га. Найпоширенішими ґрунтами Львівської області є темно-сірі опідзолені ґрунти, а також ясно-сірі і сірі лісові ґрунти [2, 18].

Деградація ґрунтів є результатом складного комплексу антропогенних і природних впливів на процеси зміни фізико-хімічних і механічних характеристик ґрунту. Як правило, на даний час основною причиною руйнування ґрунтів є процеси, що викликані інтенсивною діяльністю людини. Слід підкреслити, що ґрунт є системою вразливою і неконтрольоване внесення в нього побічних продуктів приведе до його повного руйнування. В умовах, які склалися на сьогодні, ми можемо своїми неправильними діями за лічені роки, місяці і навіть дні знищити все те, що створювалося століттями [16, 24].

Сьогоднішня екологічна ситуація в області сформувалася головним чином проблемами, які виникли десятки років тому. Першочерговим



завданням владних структур області є ліквідація наслідків уже нанесених екологічних збитків.

Розширення на території області зон, які характеризуються значними екологічними проблемами, в першу чергу пов'язано з функціонуванням в минулому потужних підприємств гірничо-видобувної, хімічної, паливно-енергетичної промисловості, експлуатацією нафтових і газових родовищ, транзитних трубопроводів. Параліч виробництва в кінці 90-х років, який був обумовлений економічною кризою, виявився екологічно сприятливим явищем, але вплив житлово-комунального господарства і транспорту на стан довкілля залишився без змін і доволі значним [31, 34].

До дестабілізації екологічної ситуації у Львівській області привело розміщення підприємств гірничо-хімічної промисловості біля Яворова, в районі Роздолу і Стебника; ТЕС – у Бурштині та Добротворі; у Сокалі – заводу хімволокна і зосередження на даній території відходів видобутку та збагачення вугілля; у Жидачеві – целюлозно-паперового заводу та інших підприємств. Інтенсивне провадження сільського господарства у минулому столітті стало причиною накопичення значної кількості агрохімікатів, адже щороку у ґрунти України вносять 170 тисяч тонн пестицидів, 150 тисяч тонн мінеральних добрив, а разом з ними надходить 4000 тонн кадмію. Якщо інтенсивність потрапляння важких металів у ґрунти не знизиться, то в недалекому майбутньому вони можуть стати більш небезпечними, ніж відходи АЕС [17, 29].

В Україні впродовж останніх десятиліть значно збільшилася кількість автотранспорту. Не оминула ця проблема і Львівську область, де кількість автотранспортних засобів, як транзитних, так і внутрішнього користування, з року в рік збільшується. Автомагістралі пронизують цю територію у різних напрямках і часто проходять безпосередньо через населені пункти.

Серед дестабілізуючих факторів екологічної ситуації в області слід виділити відвали відходів (80 млн.м<sup>3</sup>) вуглевидобутку та вуглезбагачення, які займають понад 250 га сільськогосподарських угідь. Біля 70 % відходів у

териконах становлять глинисті аргіліти, що сприяє сорбції важких металів (Li, V, B, P, Zn, Pb, Bi, Co), а завдяки підвищеному вмісту сульфідної сірки (піриту) – Hg і As [2, 15].

У місцях видалення відходів не забезпечуються вимоги щодо дотримання норм екологічної безпеки. Неправильне зберігання відпрацьованих свинцево-кислотних акумуляторів на ЗУАТ “Вторкольормет”, непридатних і заборонених до використання пестицидів у більшості агроформувань породжують проблеми, які стають причиною виведення значної частини сільськогосподарських угідь з цільового використання.

Надзвичайно складною екологічною та соціальною проблемою області є питання пов’язане з наслідками функціонування Львівського міського сміттєзвалища, яке розташоване біля с. Грибовичі Жовківського району. На це звалище щороку вивозилося біля 1 млн. м<sup>3</sup> побутових і малонебезпечних промислових відходів. Полігон належить до переліку 100 екологічно найнебезпечніших об’єктів України. Окрім несприятливої епідеміологічної ситуації, сміттєзвалище є одним із основних джерел збруднення токсичними речовинами і важкими металами прилеглих територій. Вміст міді, свинцю, кадмію, цинку, хрому, нікелю, кобальту у питній воді прилеглих до полігону територій перевищує допустимі норми в 3 – 6 разів. Проблема ще й у тому, що поряд із сміттєзвалищем розміщені амбари-накопичувачі кислих гудронів Львівського дослідного нафтомаслозаводу. На сьогоднішній день в області налічується 51 полігон (більшість із них працює в режимі перевантаження) твердих побутових відходів та 521 несанкціоноване звалище [2, 36].

Упродовж останніх років в області спостерігаються спалахи соціальної напруги, причина виникнення яких пов’язується із забрудненням довкілля (захворювання людей в Соснівці, Верблянах, Ожидові та околицях) та реакцією громадськості на потенційну загрозу такого забруднення, як завезення для спалювання на Добротвірській ТЕС з Угорщини нейтралізованих гудронових залишків.

Аналіз існуючих підходів стосовно вирішення екологічних проблем у Львівській області і в державі в цілому показує, що головним важелем має стати законодавча база, яка б забезпечила дотримання встановлених нормативів, та екологічна свідомість людей по відношенню до використання компонентів природного навколишнього середовища.

## **1.2 Джерела та шляхи надходження кадмію в навколишнє середовище**

Не менш небезпечним забруднювачем біосфери, що потребує постійного контролю у доквіллі, програмою глобального моніторингу ООН визнаний кадмій.

Найчастіше цей елемент акумулюється у поліметалічних рудах, самостійно зустрічається рідше мінерал – гринокіт ( $CdS$ ), ще рідше виявляють карбонат кадмію – отавит ( $CdCO_3$ ). Вперше, кадмій, виявлений у карбонаті цинку 1817 р. Штромером. Середній вміст кадмію у невулканічному ґрунті коливається від 0,01 до 1 мг/кг, у вулканічному досягає до 4,5 мг/кг [6, 11, 25, 33].

На дві групи можна розділити антропогенні джерела з яких кадмій потрапляє в доквілля: локальні викиди, які утворюються в процесах, де виготовляють або використовують кадмій, і дифузно розсіяні по Землі джерела різної сили, а це і теплоенергетичні установки, мотори і мінеральні добрива, тютюновий дим.

Найбільша частка викиду у навколишнє середовище кадмію припадає на цинково-кадмієві заводи – 60 %, мідно-нікелеві заводи – 23 %, згоряння палива – 10 %, спалення відходів – 3 % та на інші джерела відповідно – 4 %. Кадмій використовують в процесі виготовлення стержнів ядерних реакторів, пластикових труб, фарб, скла; застосовують в гальванотехніці, автомобільній та електронній промисловостях, а також він міститься у фосфатних добривах. Іноземні вчені виявили, що поблизу автодоріг також наявні ділянки з

підвищеним вмістом кадмію (стиранням шин, для виготовлення яких використовують кадмій та цинк). Масове виробництво у майбутньому колекторів сонячних батарей може стати основною причиною забруднення довкілля кадмієм [ 15, 18, 38, 40].

Вміст кадмію в ґрунтах України на територіях, де відсутні джерела забруднення, коливається в межах від 0,01 до 2,5 мг/кг.

Високий рівень концентрації кадмію в ґрунті стає причиною зміни морфологічних та фізико-механічних особливостей профілю забрудненого ґрунту. Проте якщо кадмій міститься у ґрунті в концентрації, що не перевищує допустиму, за нейтральної величини рН, він не впливає негативно на рослини, а отже, на тварин і людей. Вміст кадмію та свинцю у добривах не повинен перевищувати гігієнічних нормативів, відповідно 8 та 15 мг/кг, встановлених в ЕКОГІНТОКСі.

Найрозповсюдженішим методом отруєння кадмієм є вдихання парів в яких містяться окисли кадмію (наслідки: порушення роботи нирок, ламкість кісток, захворювання підшлункової залози і печінки, кашель, головні болі, утруднене дихання, запальні процеси у легенях, що призводять і до летальних випадків, а також хвороби кадмієва нежить” та ітай-ітай [35, 40].

### **1.3 Особливості розподілу та трансформації кадмію у ґрунтах**

Виробнича діяльність людини вносить значні зміни в напрям міграції металів, а також є причиною зміни її форми. Рівень забруднення ґрунту та спосіб розподілу важких металів, характер та закономірності їх просторового поширення залежить від; потужності, характеру та особливостей джерел-забруднювачів, тривалості їх діяльності, якості сировини, технології виробництва, ефективності роботи очисних споруд, кліматичних характеристик регіону, щільності населення на певній площі і т.д. Максимальне забруднення важкими металами здебільшого знаходиться у радіусі від джерела на відстані 10 – 15 км. Невеликі концентрації металів, які

потрапляють у верхні горизонти атмосфери переносяться на далекі відстані [7, 16, 24].

Нерівномірність техногенного розподілу металів посилюється неоднорідністю геохімічної ситуації в природних ландшафтах. Тому з метою отримання цілісної картини, яка дозволить спрогнозувати рівень забруднення і наслідки накопичення металу, потрібно зважати на закони міграції досліджуваного елемента у різноманітних природних системах і змінних геохімічних умовах. Токсичність і рівень трансформації поллютантів часто змінюються під впливом природних процесів і в умовах певної ландшафтної ситуації [17, 18, 25].

Кадмій також відомий своїми токсичними властивостями відносно системи “грунт-рослина”, так як в певних умовах іони кадмію володіють високою рухомістю в ґрунтах, особливо в кислих умовах середовища при рН 4,5 – 5,5, легко переходять в рослину, накопичуються в ній, а потім поступають в організм тварин і людини [14, 15].

Основна частина кадмію (до 70 %), який потрапив у ґрунт, може зв'язуватись із хімічними комплексами, які є в ґрунті, а відповідно з ними потрапляти в рослини і ними засвоюватися. Перетворення даного забруднювача в ґрунті залежить від хімічного складу ґрунту, фізичних властивостей і форми самого кадмію, що потрапив у ґрунт, і може завершитись впродовж кількох діб. У ґрунті кадмій накопичується в іонній формі у вигляді нерозчинних гідроксидів, карбонатів, комплексних сполук. Фульвокислоти можуть зв'язувати до 59 % загального його вмісту, із гуміновими кислотами кадмій утворює менш стійкі комплекси. Кальцій має властивість зв'язувати солі кадмію у важкорозчинні сполуки. Визначальним фактором, який регулює вміст кадмію в ґрунтах, є хімічний склад материнських порід. Середня концентрація елемента у верхньому шарі різних ґрунтів коливається від 0,07 до 1,1 мг/кг [8, 16, 17,].

Для кадмію характерне домінуюче його накопичення та розподіл за профілем ґрунту в гумусовому та ілювіальному горизонтах. Проте кадмій

закріплюється в ґрунтовому профілі слабше, ніж свинець. Нейтральні і кислі ґрунти з високим вмістом гумусу і високою ємкістю поглинання володіють властивістю максимальної адсорбції кадмію [21].

Як і багато інших важких металів, кадмій легко реагує з білковими макромолекулами і іншими біологічними важливими молекулами. Завдяки хімічній схожості кадмію і цинку він може заміщувати цинк, наприклад, в активних центрах цинковмісних ферментів, а також знижувати активність таких ферментів як трипсин і пепсин [29].

#### **1.4 Ріст і розвиток рослин в умовах кадмієвого забруднення ґрунту**

Рослини залежно від віку і способу життя по-різному сприймають стрімке зростання техногенного навантаження на навколишнє середовище. Причиною цього є: процес онтогенезу неоднаковий для різних рослин і визначається спадковими особливостями і умовами в яких вони зростають; для кожної рослини існує свій захисний механізм, який визначає її можливості щодо поглинання і акумуляції свинцю. Екологічно безпечний урожай зернових культур формується при вмісті важких металів в ґрунті менше 0,5 МДР [14, 28, 31, 33].

На сьогоднішній день зустрічаються непоодинокі випадки, коли навколо промислових підприємств, де зафіксовані високі рівні вмісту в ґрунтах важких металів, зникли певні види чутливих до цих політантів рослин. Відбувається збіднення флори, а, як наслідок, утворюється “техногенна флора”, яка представлена двома – трьома видами. Проблема забруднення рослин важкими металами загострюється ще і тому, що ґрунт є не єдиним джерелом надходження їх в рослини. Значна частка важких металів потрапляє в рослини з атмосфери [18, 25].

Тривала та інтенсивна дія токсичних речовин стає причиною порушення у рослинах фізіологічних функцій, а саме: пригнічується робота ферментативних систем, пошкоджуються і відмирають окремі групи клітин і ділянки тканин, що часто призводить до загибелі рослин і навіть зникнення

цілих видів, порушується рівновага в надходженні мікро- і макроелементів. Внаслідок забруднення ґрунту важкими металами деформується механізм надходження заліза в рослини ячменю, а це призводить до різкого зниження його вмісту в зерні [7, 28].

Кадмій не входить в число елементів, які потрібні рослинам для їх нормальної життєдіяльності, проте все одно інтенсивно ними вбирається. Найчастіше рослини одержують кадмій із розчинного  $\text{CdCl}_2$ . В найбільшій мірі на інтенсивність поглинання рослинами даного елемента впливають основні показники ґрунту. Адже відомий факт, що, наприклад, при зростанні рН засвоюваність рослинами свинцю та кадмію зменшується. Кадмій має високу рухомість, швидко засвоюється рослинами і нагромаджується в їх вегетативній масі [17, 21].

Завдяки присутності в ґрунті важкого металу – цинку можливе зменшення вмісту кадмію в рослині, а заміщення цинку на кадмій в рослинах призводить до цинкової недостатчі. Так, як ці два метали є близькими за хімічними властивостями, кадмій може заміщувати цинк в багатьох біохімічних процесах та чинити пригнічуючу дію на активність таких ферментів: фосфатаза, карбоангідраза, дегідрогенази. Порушення активності перелічених ферментів стає причиною зміни фізіологічних процесів у рослині. Хлорофіл має здатність акумулювати кадмій у тканинах рослин [25, 28].

Кадмій володіє важливою біохімічною властивістю, яка проявляється у спорідненості до сульфгідрильних груп, що стає причиною підвищеної концентрації кадмію в протеїновій фракції рослин і веде до інгібування ростових процесів у рослин, викликає хлороз листків, червоно-буре забарвлення їх країв, перешкоджає симбіотичним взаємодіям мікробно-рослинних угруповань. Прояв цих процесів у рослині внаслідок потрапляння в неї кадмію є синтез цистеїну і метіоніну [14, 15].

Деякі важкі метали (кадмій, мідь) взаємодіють з клітинними мембранами, змінюючи їх проникність, викликають розрив клітинних

мембран. Пригнічення росту коренів в присутності кадмію обумовлено пригніченням переходу клітин до розтяження і зниженням швидкості розтяження [33, 37].

Кадмій, як і свинець, може в рослини надходити і безпосередньо з атмосфери. Відсоток засвоєного кадмію з атмосфери може становити 20 – 60 % від усієї його кількості в рослині. Кадмій, що потрапив у рослину із повітря, може переміщуватись по всій рослині. При потраплянні з ґрунту кадмій в основному локалізується в коренях і, в менших кількостях, – в надземних органах і плодах. При цьому, коли кількість кадмію в ґрунтовому середовищі різко підвищується, концентрація елемента в коренях в кілька разів перевищує його концентрацію в надземній масі [18].

Забруднені рослини можуть містити навіть до 400 мг/кг кадмію і більше. Найбільша кількість кадмію локалізується в генеративній частині рослини. Забруднення ґрунтів кадмієм є більш небезпечним для рослин, які ростуть на кислих ґрунтах. Швидкість перерозподілу кадмію в системі “ґрунт-рослина” залежить і від типу обробітку ґрунту. Механічний обробіток ґрунту відіграє важливу роль у перерозподілі забруднювачів за профілем. Досить ефективним і економічно вигідним прийомом є оранка ґрунту. Внаслідок перевертання забрудненого шару ґрунту на глибину 20 – 25 см можливе десятикратне зменшення рівня забруднення активного шару ґрунту, а, відповідно, і рослинницької продукції. Згідно даних ряду вчених, кадмій на неокультурених підзолистих ґрунтах чинить пригнічуючий ефект вже при концентрації 5 мг/кг, а на окультурених, – 50 мг/кг [26, 29].

Результати досліджень багатьох вчених показали, що за порівняльною фітотоксичністю (при рівних концентраціях) важкі метали розташовуються в такій послідовності: Cd>Ni>Zn>Mn>Cu>Pb.



## 2 УМОВИ, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Ґрунтово-кліматичні та географічні умови місцевості проведення досліджень

Вивчення особливостей та встановлення закономірностей і інтенсивності впливу кадмію на рослини ячменю було проведено впродовж основних фаз її онтогенезу. Специфіку міграції полютанта за профілем ґрунту вивчали використовуючи темно-сірий опідзолений ґрунт, так як цей ґрунт є одним з найрозповсюдженіших в зоні дослідження. Типовість ґрунту встановлювали за рахунок закладання ґрунтових розрізів [10].

Для характеристики морфологічної будови та зовнішніх ознак нижче наводимо опис розрізу темно-сірого опідзоленого легкосуглинкового ґрунту:

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<sub>2</sub>.

He (25 – 40 см) – гумусовий, добре елювіований, підорний, темно-сірий, вологий, крупнопиловато-легкосуглинковий, ущільнений, пластинчасто-дрібногоріхуватий, рідко зустрічається коріння рослин, помітна присипка SiO<sub>2</sub>; перехід поступовий.

Hi (41 – 72 см) – гумусово-ілювіальний, сірувато-бурий, крупнопиловато-легкосуглинковий, ущільнений, горіхуватий, а донизу призматичний, у верхній частині помітна присипка SiO<sub>2</sub>; перехід поступовий.

I (73 – 90 см) – ілювіальний, жовто-бурий, крупнопиловато-легкосуглинковий, призматичний, у верхній частині трапляються натіки гумусу і присипка SiO<sub>2</sub>; перехід поступовий.

Pi (91 – 130 см) – ілювіована порода, жовто-бура, крупнопиловато-середньосуглинкова; перехід різкий, нерівний.

Pk (131 – 180 см) – материнська порода, жовто-пальова, легкосуглинкова, карбонатна [1].

Про родючість ґрунту та його господарську цінність можна частково судити знаючи його гранулометричний склад. Відповідно до даних таблиці 2.1 можна стверджувати, що ґрунт на якому ми проводили дослідження є легкосуглинковим.

Таблиця 2.1 – 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

Значна кількість пилу є причиною утворенню кірки на поверхні ґрунту.

У таблиці 2.2 подана загальна інформація щодо агрохімічної характеристики тест-ґрунту. Орний шар ґрунту характеризується відносно низьким вмістом гумусу 2,3 – 2,0 % [1, 10].

Таблиця 2.2 – Агрохімічна характеристика темно-сірого опідзоленого ґрунту

Рік	Шар ґрунту	Гумус	pH	Легкогідролізований азот	Рухомий фосфор	Обмінний калій
	см	%	сольове	мг/кг повітряно-сухого ґрунту		
1-й	0-10	2,3	5,8	109	192	126
	10-20	2,1	5,8	107	190	125
	20-30	2,0	5,7	106	188	122
2-й	0-10	2,3	5,8	110	193	126
	10-20	2,1	5,8	109	192	125
	20-30	2,0	5,8	108	191	124
3-й	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

Згідно отриманих даних видно, що забезпечення ґрунту азотом гідролізованим, який визначали за методом Корнфільда становить: 106 – 110 мг, а фосфором, який визначали за Чириковим: 188 – 193 мг і калієм: 122 – 126 мг на 1 кг ґрунту. Це є середній рівень забезпечення.

Об'ємна і питома маса ґрунту підвищується відповідно до збільшення глибини, а показник загальної пористості і гігроскопічності навпаки знижується (додаток А).

Таблиця 2.3 – Фізичні властивості темно-сірого опідзоленого легкосуглинкового ґрунту (середнє за роки дослідження)

Глибина відбо- ру зразка, см	Маса ґрунту, г/см <sup>3</sup>		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

## 2.2 Метеорологічні умови впродовж років проведення досліджень

Ячмінь ярий – це не надто вимоглива рослина до тепла. Насіння може проростати при температурі +1...+2<sup>0</sup>С, а оптимальна – +15...+20<sup>0</sup>С. Сходи витримують приморозки –3...–4<sup>0</sup>С, а іноді й до –6<sup>0</sup>С. Якщо температура на стадії проростання насіння і сходів знижується нижче рівня допустимих середніх міні температур, тоді це призводить до проблем у процесі схожості насіння та стає причиною сповільнення процесу росту у рослині на цих етапах розвитку. Тому часто кількість кінцевої продукції залежить від амплітуди коливань температури впродовж вегетації. Нерідко температура стає чинником, який визначає границі ареалів вирощування сільськогосподарських культур. На початку вегетації ячмінь погано переносить весняні посухи, а серед хлібів першої групи ячмінь ярий

найбільш посухостійкий. Сівбу проводять у ранні строки, як тільки дозволяє стан ґрунту [19, 20].

Дані щодо природно-кліматичних умов було використано із звітів Дублянського гідрометеоцентру, профільних довідників та картів ґрунтів Львівської області.

В межах  $+7,1 - +7,5^{\circ}\text{C}$  коливається багаторічна середня температура повітря. У перші дні жовтня спостерігаються перші заморозки в повітрі, а останні були зафіксовані у кінці квітня.

У таблиці 2.4 наведені дані щодо середньомісячної температури повітря, яка була характерна для трьох вегетаційних періодів впродовж наших досліджень.

Таблиця 2.4 – Середньобагаторічна та середньомісячна температура повітря за 3 роки дослідження,  $^{\circ}\text{C}$

Місяць	Сер. багаторіч. дані	1-й р.	Відхил. від сер. багаторіч. даних	2-й р.	Відхил. від сер. багаторіч. даних	3-й р.	Відхил. від сер. багаторіч. даних
Січень	-3,8	-7,8	-4,0	3,3	7,1	-0,6	3,2
Лютий	-2,3	-4,6	-2,3	-0,7	1,6	2,4	4,7
Березень	1,4	-0,2	-1,6	6,8	5,4	4,2	2,8
Квітень	8,1	9,7	1,6	10,1	2,0	10,1	2,0
Травень	14,0	14,4	0,4	16,8	2,8	13,9	-0,1
Червень	16,9	17,5	0,6	19,7	2,8	18,5	1,6
Липень	18,6	20,5	1,9	20,3	1,7	18,7	0,1
Серпень	17,8	17,8	-	20,3	2,5	19,1	1,3
Вересень	13,4	15,0	1,6	13,0	-0,4	13,3	0,1
Жовтень	8,4	9,8	1,4	8,9	0,5	10,0	1,6
Листопад	2,7	5,5	2,8	0,8	-1,9	4,5	0,8
Грудень	-1,8	2,4	4,2	-1,5	0,3	0,6	-1,2
За рік	7,8	8,3	0,5	9,8	2,0	9,6	1,5

Температура повітря вегетаційних періодів різнилася між собою, а відповідно це мало вплив на формування кількісних та якісних показників ячменю ярого.

Таблиця 2.5 – Середньобагаторічна та середньомісячна сума опадів за 3 роки дослідження, мм

Місяць	Сер. багаторіч. дані	1-й р.	Відхил. від сер. багаторіч. даних	2-й р.	Відхил. від сер. багаторіч. даних	3-й р.	Відхил. від сер. багаторіч. даних
Січень	27,1	20,3	-6,8	65,3	38,2	27,1	-
Лютий	30,5	30,0	3,5	56,9	26,4	12,1	-18,4
Березень	31,5	72,7	41,2	51,4	19,9	36,7	5,2
Квітень	41,6	50,2	8,6	17,6	-24,0	87,9	46,3
Травень	69,2	92,1	22,9	84,4	15,2	102,0	32,8
Червень	83,6	54,9	-28,7	68,7	-14,9	51,3	-32,3
Липень	88,3	141,6	52,7	106,0	17,7	152,6	67,3
Серпень	71,8	228,7	156,9	53,3	-18,5	82,7	10,9
Вересень	58,4	44,8	-13,9	69,8	11,4	120,2	61,8
Жовтень	37,4	32,6	-4,8	35,4	-2,0	25,6	-11,8
Листопад	39,2	39,6	0,4	52,3	13,1	22,3	-16,9
Грудень	33,5	11,1	-22,4	19,7	-13,8	37,7	4,2
За рік	612,1	822	209,9	687	74,9	758,2	149,1

Перший рік дослідження характеризувався найвищим рівнем забезпечення вологістю – 822 мм, що відповідно на 209,9 мм вище від даних середніх багаторічних. Саме і в період вегетації спостерігалася висока забезпеченість вологістю. Проте, 2-й рік навпаки характеризувався недостатньою кількістю опадів. Поряд із найвищою температурою в цей рік випала найменшою кількістю опадів. Для другого року дослідження метеорологічні умови впродовж вегетаційного періоду були не надто сприятливими і це видно з показників щодо росту і розвитку ячменю. Третій рік дослідження відзначився також відносно високою вологозабезпеченістю.

### 2.3 Об'єкти, умови та методика проведення польових досліджень

Як Об'єкт дослідження ми обрали систему “грунт-рослина”. Грунт був темно-сірого опідзоленого типу, а тест-культурою був ячмінь ярий, який використовують у пивоварних цілях, а саме сорт “Пеяс”. За площею посіву ячменю Україна займає одне з перших місць, поступаючись Росії. У 2003

році до Реєстру сортів України було занесено 76 сортів ярого ячменю, у тому числі 47 пивоварних, 15 цінних та 14 зернових [20].

Ячмінь – одна з найдавніших культур. Культура ячменю має багатовікову історію. У країнах Близького Сходу був відомий ще за 8 тис. років до н.е. В Україні (3,2 – 3,7 млн. га) ячмінь посідає друге місце після пшениці.

Для виявлення інтенсивності еколого-фізіологічного впливу кадмію на ґрунт і рослину нами було проведено як польові так і лабораторні дослідження.

Польовий мікроділянковий дослід закладали відповідно до методик, які є загальноприйнятними (площа 1-ї ділянки – 2 м<sup>2</sup>, розташування – рендомізоване, повторність – п'ятиразова) [9]. Екотоксикант – CdCl<sub>2</sub>·2,5H<sub>2</sub>O (1, 5 та 10 ГДК валових форм) був штучно внесений у ґрунт на початку дослідження. Схема досліду подана у таблиці 2.6. Ячмінь висівали в забруднений ґрунт і вирощували відповідно до рекомендованої технології, яка найефективніша в досліджуваній зоні [20, 23].

Таблиця 2.6 – Концентрація кадмію внесеного у ґрунт, мг/кг

Варіант	Кадмій
1 ГДК Cd <sup>2+</sup>	3
5 ГДК Cd <sup>2+</sup>	15
10 ГДК Cd <sup>2+</sup>	30

Експериментальні дослідження були проведені з метою вивчення процесів міграції та трансформації свинцю за профілем темно-сірого опідзоленого ґрунту. Досліджували інтенсивність вбирання даного елемента ячменем на різних стадіях онтогенезу та його вплив на процеси росту, розвитку культури та характеристики ґрунту.

У фазі сходів, цвітіння та повної стиглості відбирали зразки ячменю і у підземній і надземній фіто масі, а також у зерні визначали вміст екополютанта.

Оцінювання якісних характеристик зернової продукції відносно вмісту у ній важкого металу проводили використовуючи загальноприйняті значення ГДК.

Кожної осені ґрунтовим буром відбирали зразки ґрунту з дослідних ділянок з глибини 0 – 60 см, кожні 10 см.

Визначення основних хімічних і фізичних параметрів ґрунту проводили за загальноприйнятими методиками: вміст гумусу в ґрунті за Тюрінім; рН сольової витяжки – потенціометричним методом [10].

Концентрацію кадмію у зразках ґрунту та рослинах визначали на приладі С115М методом ААС. Визначали як валові так і рухомі форми кадмію у ґрунті. Для більшої інформативності оцінювали і інтенсивність біопоглинання кадмію використовуючи коефіцієнта біопоглинання [32].

Достовірність наших результатів дослідження було досягнуто за рахунок відбору значної кількості зразків, вибору методик, використання математичного аналізу результатів, які ми отримали. Усі результати дослідження було статистично опрацьовано за допомогою програм Statistika і Agrostat.

## **3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **3.1 Характеристика міграційних та акумулятивних особливостей валових форм кадмію за профілем ґрунту**

Інтенсивність вертикальної міграції кадмію за профілем ґрунту залежить в основному від фізичних та хімічних властивостей досліджуваного ґрунту. Володіючи інформацією про особливості низхідної міграції кадмію, можна частково оцінити можливість отримання екологічно безпечної продукції з ділянки, яка характеризувалася б допустимим рівнем вмісту цього металу. Прогнозування поведінки кадмію в системі “ґрунт-рослина” ускладнено динамічними змінами ряду факторів; кліматичні умови місцевості, інтенсивність надходження цього поліюванта в ґрунт з антропогенних джерел тощо. До вище перелічених факторів слід віднести потоки речовин у ґрунті, нижніх шарах атмосфери, поверхневих і підземних водами [18, 21, 24, 27].

Результати наших досліджень вказують, що вміст кадмію на контрольних ділянках не перевищує гранично допустиму концентрацію. Так у верхньому родючому шарі він рівний у середньому 0,91 мг/кг ґрунту. Фонові кількості важких металів присутні у всіх компонентах екосистем (ґрунти, рослини, тварини і людина), однак вони не справляють суттєвої негативної дії на нормальне функціонування екосистеми в цілому. Дослідження багатьох вчених показують, що на даний час більша частина ґрунтів є забрудненою важкими металами [11, 31].

Отримані нами дані, підтверджують результати вчених, які вивчали міграційні та акумулятивні властивості ґрунтів. Основна частина кадмію нагромаджується у гумусовому горизонті. Ілювіальний горизонт також характеризується доброю акумулятивною здатністю щодо кадмію і виступає так званим сорбційним бар'єром. Нагромадження в цьому горизонті металу



пов'язане з підвищеним вмістом органічної речовини. Вміст металу зменшувався вниз за профілем.

Міграція кадмію за профілем відносно важких ґрунтів, досить тривалий процес. Інтенсивність проходження якого залежить від їх фізико-хімічних властивостей. Основна кількість кадмію залишається у ґрунті, лише незначна його частина виноситься за межі ґрунтового профілю [5, 11, 18, 25].

Фоновий вміст кадмію у кореневмісному шарі темно-сірого опідзоленого ґрунту становив 0,93 – 0,89 мг/кг ґрунту (рис. 3.1).

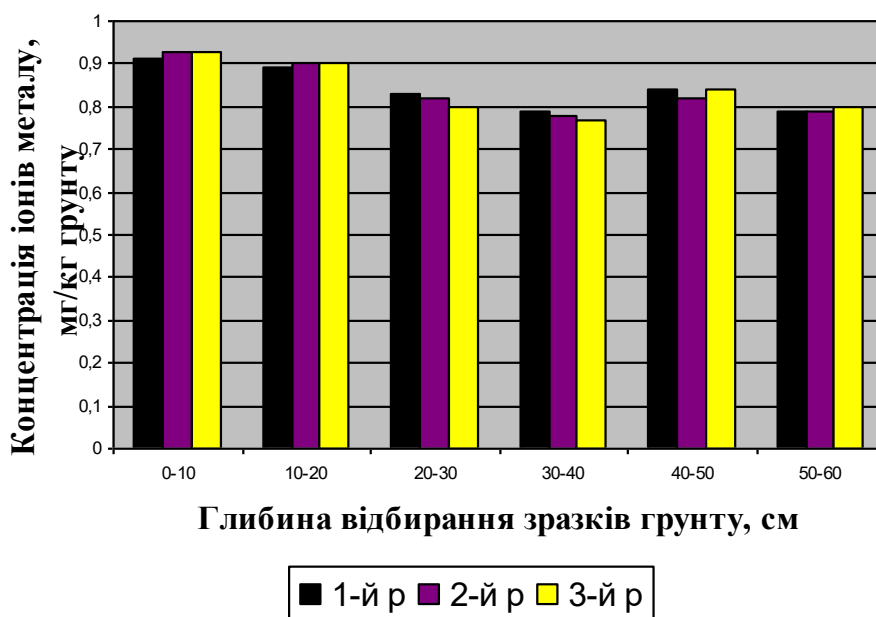


Рисунок 3.1 – Фоновий розподіл кадмію за профілем ґрунту

Цей показник не змінювався впродовж років дослідження, лише відзначені незначні коливання. Нами відмічена тенденція (основна частина кадмію накопичується двадцятисантиметровому гумусовому та ілювіальному горизонтах) щодо розподілу даного металу за профілем ґрунту. Найменша кількість металу акумулювалася на глибині 20 – 40 см, що пов'язано з процесами, які відбуваються саме у цьому профілі.

Міграційна активність кадмію пов'язана з особливостями ґрунтового профілю. Так, він може вимиватися з одних горизонтів і накопичуватися в інших, яким характерний підвищений вміст гумусу, мулистих часток тощо.

Тому, відсоток акумульованого металу у верхньому шарі відносно усього досліджуваного профілю за роки досліджень становив 36,1 %.

Ми стверджуємо, що навіть незначна порівняно до фонового вмісту кадмію в ґрунті штучно внесена кількість металу у ґрунт стала причиною різкого збільшення його у верхньому кореневмісному шарі. Кадмій, внесений у ґрунт у дозі 1 ГДК, зумовив у перший рік дослідження різке збільшення його валових форм на глибині 0 – 20 см до 2 мг/кг ґрунту (рис. 3.2).

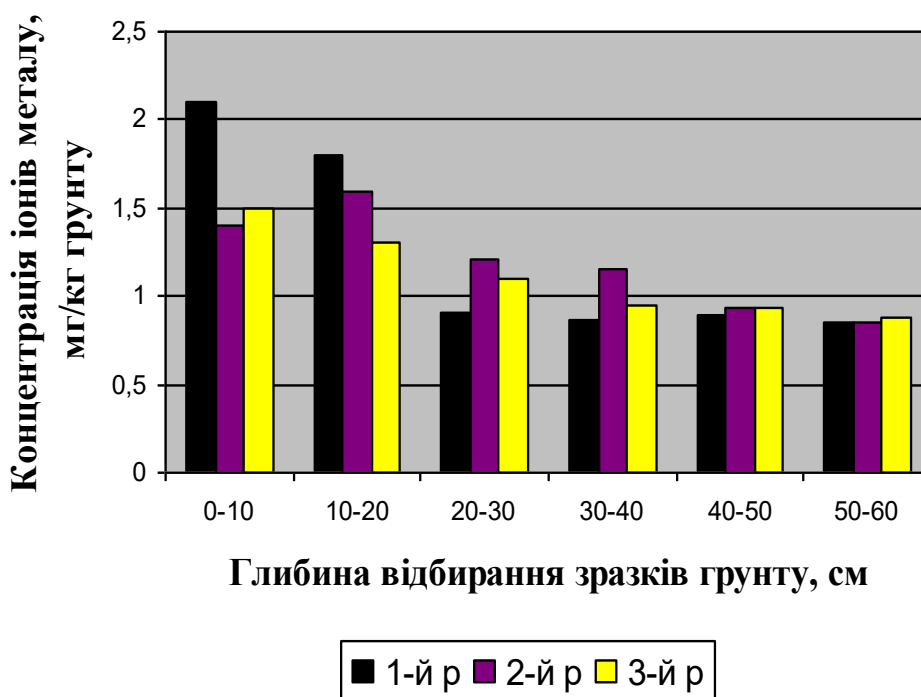


Рисунок 3.2 – Міграція кадмію, внесеного в дозі 1 ГДК, за профілем ґрунту

На другий і третій рік досліджень кількість валових форм кадмію становила у середньому 1,5 – 1,4 мг/кг ґрунту, тобто зменшилась на 25 і 30 % у порівнянні з першим роком. У кореневмісному шарі концентрація кадмію в перший рік досліджень порівняно з цим шаром на фонових ділянках була вищою в середньому у два рази.

Також спостерігалось чітке зменшення концентрації валових форм із глибиною. У кореневмісному шарі від усієї кількості внесеного поліюванта акумулювалося за перший рік 52,6 %, а за другий і третій рік 41,8 та 42,0 %

відповідно. Відмічаємо, що кадмій нагромаджувався у кореневмісному шарі гумусового горизонту. Частковий винос кадмію з цього горизонту у більш глибокі шари ґрунту є постійним, але інтенсивність міграції є незначною. Вміст валових форм кадмію на варіанті зі штучним забрудненням в дозі 1 ГДК відносно контрольних ділянок на глибині 40 – 60 см істотно не відрізнявся. В цілому за даної норми превнесення сполук кадмію, не зафіксовано перевищення його ГДК в ґрунті.

Штучне внесення хлориду кадмію в дозі 5 ГДК у темно-сірий опідзолений ґрунт змінило перерозподіл металу за профілем (рис. 3.3).

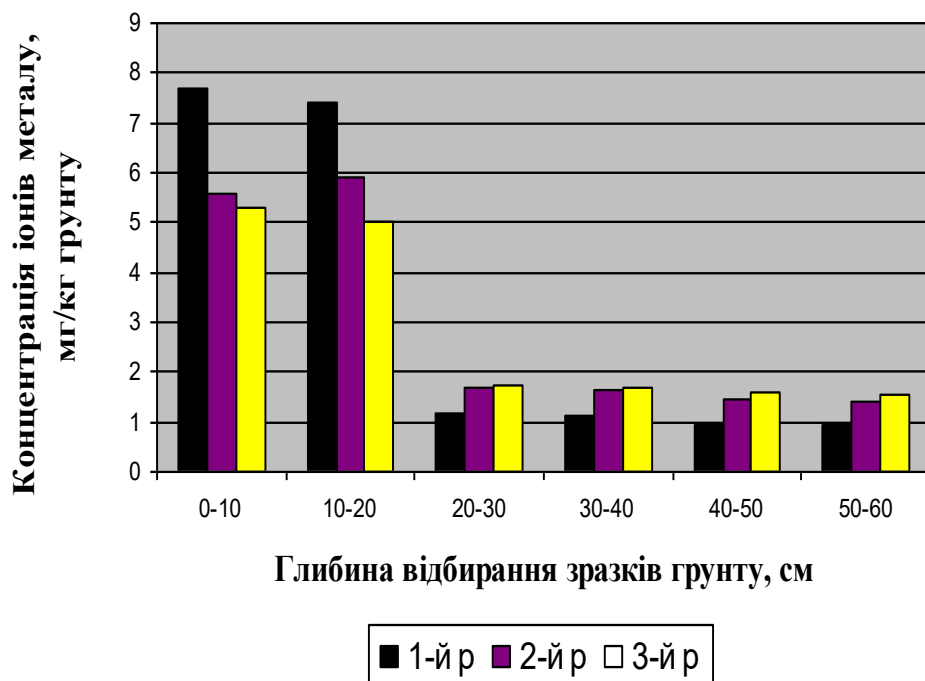


Рисунок 3.3 – Міграція кадмію, внесеного в дозі 5 ГДК, за профілем ґрунту

З отриманих даних видно, що більша частина металу затримується в 0 – 20 см шарі, а інша частина кадмію перерозподіляється в шарі ґрунту, де є велика кількість органічних речовин та мулистих часток. Відомим є факт, що органічні речовини мають властивість закріплювати кадмій в ґрунті [16, 17, 21].

За три роки досліджень відсоток акумульованого металу 0 – 20 см шарі відносно усього досліджуваного профілю складав: 69,8 %, 65,0 % та 61,1 % відповідно. В порівнянні, концентрація кадмію в шарі 0 – 20 см при дозі 5 ГДК, з фоновими ділянками була вищою у сім разів. Це у два рази вища концентрація металу у верхньому шарі відповідно до прийнятої ГДК кадмію у ґрунті. Проте, в ілювіальному горизонті значної різниці не зафіксовано.

У випадку збільшення забруднення орного шару до 10 ГДК валових форм кадмію також змінився характер перерозподілу даного елемента за усім профілем досліджуваного ґрунту (рис. 3.4).

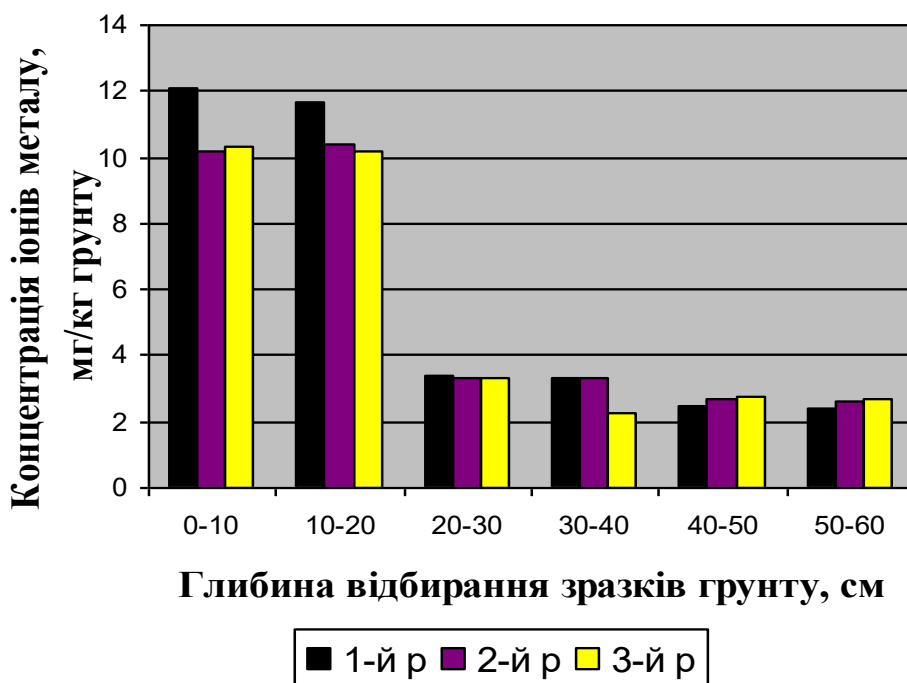


Рисунок 3.4 – Міграція кадмію, внесеного в дозі 10 ГДК, за профілем ґрунту

При високому рівні забруднення ґрунту кадмієм, як і при забрудненні в дозі 5 ГДК, основна його кількість акумулювалася в кореневмісному шарі.

За роки досліджень відсоток акумульованого металу у 0 – 20 см шарі відносно усього досліджуваного профілю становив 67,2 %, 63,3 % та 64,9 % відповідно. З отриманих даних видно, що на варіанті з дозою 10 ГДК в орному шарі втрати кадмію були дещо вагоміші в порівнянні з 5 ГДК. В

ілювіальному горизонті перевищення фонової концентрації досягало в середньому трьох разів, а у шарі 0 – 20 см – 12 разів. Відносно встановленої ГДК перевищення вмісту металу у кореневмісному шарі сягало чотирьох разів. Профільний розподіл кадмію носить вибіркового характеру з максимальним нагромадженням у гумусо-аккумулятивному та ілювіальному горизонтах.

Одним з основних факторів активної акумуляції кадмію у верхньому гумусовому горизонті є гранулометричний склад ґрунту, який у досліджуваному ґрунті є відносно важким [1, 39]. У кожному наступному горизонті ґрунту спостерігалось зменшення концентрації металу, що пов'язано зі збільшенням щільності ґрунту з глибиною.

Отримані дані дозволяють з певною ступеню достовірності пояснювати тенденції в перерозподілі кадмію за ґрунтовим профілем і лише наближено судити про санітарно-гігієнічний стан сільськогосподарських ґрунтів. Визначення та отримання достовірної інформації про екологічний стан агроландшафтів ускладнюється поліелементним збрудненням, де вступають у силу процеси антагонізму і синергізму іонів, процеси трансформації та надходження важких металів у рослину тощо.

Проте з точки зору системи екологічних законів абсолютного виведення поллютанта з певного шару ґрунту не відбувається, а це веде до порушення рівноваги системи, так як при великому навантаженні вона не повертається до попереднього стану [11, 31].

Кількість валових форм кадмію в певному горизонті залежить від початкової його кількості при внесенні в ґрунт, фізико-хімічних властивостей горизонту, кліматичних умов тощо. Кількість кадмію зменшувалася з глибиною і часом тривання навантаження на ґрунт. У випадку вибраних для дослідження концентрацій кадмію в ґрунті гумусовий та ілювіальний горизонти виконують бар'єрну функцію щодо потоку сполук кадмію вниз за горизонтами нашого ґрунту.

### 3.2 Рухомі форми кадмію в кореневмісному шарі ґрунту

Інтенсивність та характер перерозподілу важких металів за профілем ґрунту і їх поглинання рослинами пов'язано в значній мірі з тим, в якій фізико-хімічній формі токсикант знаходиться в ґрунті. Знаючи це, можливо спрогнозувати подальшу поведінку кадмію у ґрунтовому середовищі.

До тих пір, поки важкі метали міцно зв'язані з частинками ґрунту і важкодоступні, їх негативний вплив на ґрунт і навколишнє середовище буде незначним. Пряма небезпека забруднення ґрунтів, а відповідно і рослин та організмів, що споживають забруднені рослини, з'являється тоді, коли ґрунтові умови сприяють переходу металів у ґрунтовий розчин [3, 6].

Реально оцінити стан рослинного організму, який проростає на забрудненому ґрунті через валові кількості важких металів, можливо при досить високих їх концентраціях у ґрунті (перевищення фону в 50 – 100 раз). При незначних рівнях забруднення ґрунту більш об'єктивним критерієм є показник рухомості елемента. Тим більше, що для кореневмісного шару ґрунту характерне переважання рухомих форм металів, а ця закономірність являється спільною для всіх забруднених ґрунтів. Проте і рухомі форми важких металів, за якою би методикою вони не визначались, лише приблизно характеризують їх реальну доступність рослинам [18].

Кадмій надзвичайно небезпечний ще й тому, що він володіє у ґрунті високою токсичністю і рухливістю в широкому діапазоні значень рН. Окрім кадмію, в нейтральному середовищі досить рухливими є і магній, манган та трьохвалентне залізо [21, 33].

Кількість рухомих форм кадмію в ґрунті, а особливо у кореневмісному шарі, залежить від інтенсивності процесів вимивання його у нижні шари ґрунту, вмісту органічних сполук та механічних характеристик ґрунту, властивостей забруднювача, його валової кількості, а також важливе значення мають і особливості культури, яка вирощується на ґрунті, який зазнав кадмієвого навантаження [17, 28].

Відомим є факт, що кадмій є більш доступним для рослин порівняно із свинцем, бо він у ґрунті здебільшого представлений обмінною формою, що дає йому змогу легко мобілізуватися і тим самим ставати більш доступним для поглинання коренями рослин [7, 11].

Наші дослідження показали, що на фоновій ділянці відсоток рухомих форм кадмію у середньому становив 25 %. Порівняно із свинцем кадмій, який був внесений у дозі 1 ГДК, характеризувався значно вищим рівнем рухомості відносно фоновій ділянці. На цьому варіанті відсоток потенційно доступних рослинам форм становив у рік внесення політанта 31,5 (рис. 3.5).

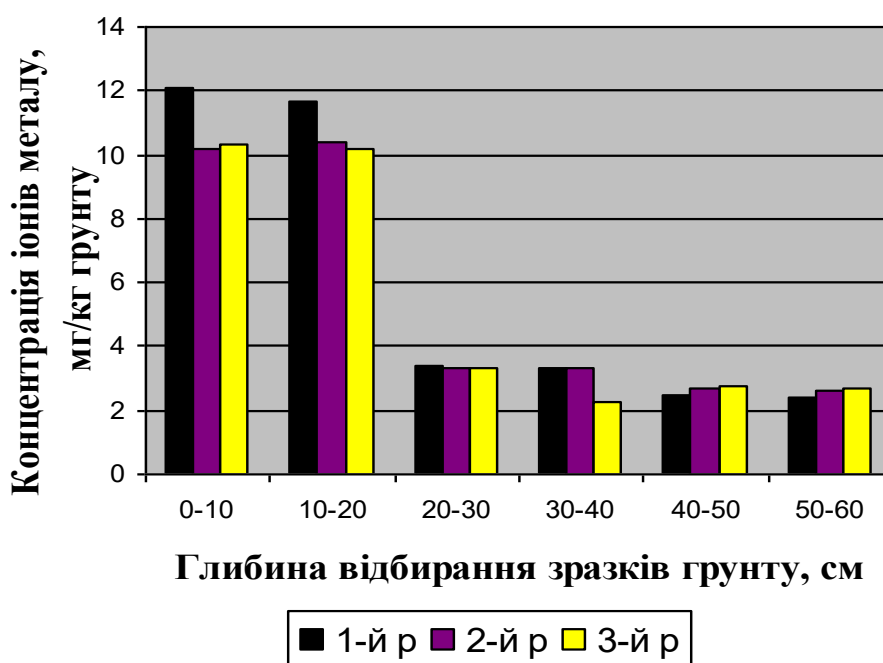


Рисунок 3.5 – Частка рухомих форм у валовому вмісті кадмію в орному шарі ґрунту

Кадмій, як і свинець, поступово закріплювався ґрунтом. За наступні два роки дослідження вміст рухомих форм зменшився на 4,4 – 6,0 %.

Внаслідок збільшення рівня забруднення ґрунту до відмітки 5 ГДК було відмічено значне підвищення відсоткового вмісту рухомого кадмію,

який на 13,6 % був у 1-й р. вищим за цей показник на ділянці з дозою 1 ГДК  $\text{Cd}^{2+}$ .

Другий рік дослідження характеризувався значно нижчим значенням досліджуваного показника. Фактор часу та ґрунтові умови змінили відсотковий вміст рухомого кадмію і на третій рік проведення досліджень. Порівняно з першим роком дослідження показник знизився на 15,81 %. Зменшення вмісту його рухомих форм відбувається також і за рахунок проходження процесів міграції металу вниз за профілем та зв'язування кадмію з фульвокислотами.

Практично на 25,0 % відносно фону був вищий відсоток рухомих форм металу на варіанті з концентрацією забруднення 10 ГДК  $\text{Cd}^{2+}$ . На темно-сірому опідзоленому ґрунті рухомість кадмію за два наступні роки досліджень зменшилась на 11,3 % та 19,0 % відповідно.

Зміна у бік зменшення вмісту рухомого кадмію з часом пов'язана насамперед з процесом його зв'язування з різними функціональними групами. На основі такої тенденції можна частково прогнозувати поведінку певної забрудненої важкими металами агросистеми у часі, що дасть змогу оцінити її можливості щодо вирощування на ній безпечної продукції.

Вміст рухомих форм кадмію у ґрунті при невисоких рівнях забруднення не був вищим за ГДК, за винятком дослідної ділянки – 10 ГДК.

Кадмій володіє високою рухомістю в даному ґрунті. За тих самих умов відносно валових форм свинцю рухомих було від 8,3 % до 11,9 %, а на варіантах із кадмієм цей показник збільшився до 24,9 % на фонових ділянках і 49,7 % на варіантах забруднення у дозі 10 ГДК  $\text{Cd}^{2+}$ . Це доводить відмінність між двома металами щодо їх здатності поглинатися рослинами.

Через таку рухомість кадмію в ґрунті слід ретельно контролювати вміст полютанта у вищоруваній продукції, оскільки темно-сірий опідзолений ґрунт не здатний повністю перевести метал у недоступну для рослин форму.

Ми відмічаємо чітку тенденцію у взаємозв'язку важких металів з органічною речовиною ґрунту. При зростанні процентного вмісту гумусу



збільшувалося нагромадження валових форм свинцю і кадмію, концентрації ж рухомих форм цих елементів зменшувалися.

Отже, чим вище значення того чи іншого фізико-хімічного показника темно-сірого опідзоленого ґрунту, тим більша утримуюча здатність його щодо важких металів, що значно впливає на їх надходження до рослин.

Встановлено, що темно-сірий опідзолений ґрунт володіє здатністю в певній мірі контролювати рівень як валових так і рухомих форм важких металів. Однак є необхідність посиленого контролю з боку людини. Так, в результаті негативної дії на ґрунт є ймовірність посилення мінералізуючої здатності, а це обов'язково приведе до порушення механізму самоочищення і повної деградації ґрунту.

### **3.3 Акумулятивні особливості рослин ячменю ярого щодо накопичення в них кадмію**

Нами встановлено, що важкі метали можуть накопичуватися у генеративних та вегетативних органах рослини у різних концентраціях. Рослини ячменю, які були вирощені на темно-сірому опідзоленому ґрунті з надлишком кадмію, нагромаджували цей метал у різних кількостях в залежності від його вмісту в ґрунті (табл. 3.1).

Встановлено, що у фазі сходів концентрація кадмію у загальній фітомасі тест-рослини знаходилась у межах від 0,33 (контрольні рослини) до 4,50 (10 ГДК  $\text{Cd}^{2+}$ ) мг/кг. Вдвічі збільшилася у 1-й рік концентрація кадмію у рослині порівняно з контролем на варіанті досліду з дозою 1 ГДК  $\text{Cd}^{2+}$ . Із часом вміст тест-металу у досліджуваній рослині зменшувався і на третій рік дослідження дане значення досліджуваного показника знаходилося на одному рівні з контролем.

До значного підвищення рівня вмісту кадмію у ячмені призвело додаткове внесення забруднювача у ґрунт в концентрації 15 мг/кг.

Таблиця 3.1 – Концентрація кадмію в ячмені ярому залежно від рівня забруднення ґрунту, мг/кг абсолютно сухої речовини

Варіант	Рік	Концентрація				
		фаза сходів	фаза цвітіння		фаза повн	
		загальна фітомаса	корені	солома	корені	сол
Контроль	1-й	0,33±0,009	0,62±0,02	0,11±0,004	0,42±0,02	0,089
	2-й	0,37±0,01	0,69±0,02	0,099±0,004	0,43±0,02	0,081
	3-й	0,35±0,01	0,65±0,02	0,098±0,004	0,40±0,01	0,085
1 ГДК Cd <sup>2+</sup>	1-й	0,64±0,02****	1,25±0,04****	0,21±0,009****	0,83±0,03****	0,18±0,
	2-й	0,47±0,02*	0,92±0,04***	0,17±0,007****	0,52±0,02*	0,13±0,
	3-й	0,32±0,01	0,75±0,03**	0,12±0,006	0,43±0,02	0,09=
5 ГДК Cd <sup>2+</sup>	1-й	2,97±0,15****	5,58±0,32****	0,48±0,02****	4,12±0,21****	0,35±0
	2-й	1,02±0,05****	2,11±0,11****	0,38±0,02****	1,14±0,08****	0,26±0
	3-й	0,70±0,04****	1,58±0,08****	0,34±0,02****	1,31±0,06****	0,29±0
10 ГДК Cd <sup>2+</sup>	1-й	4,50±0,28****	10,44±0,61****	0,69±0,03****	8,12±0,49****	0,59±0
	2-й	2,11±0,12****	3,24±0,18****	0,51±0,02****	2,92±0,16****	0,45±0
	3-й	1,35±0,07****	2,28±0,12****	0,45±0,02****	2,04±0,10****	0,40±0
ГДК						0

Концентрація кадмію у рослині збільшилася до 2,97 мг/кг сухої речовини, тоді як контрольні рослини адсорбували в собі 0,33 мг/кг сухої речовини ячменю. Вміст кадмію в рослинах ячменю зменшувався з кожним наступним роком (табл. 3.1).

Практично в 14 разів збільшилася концентрація кадмію у ячмені відносно контролю на варіанті досліду, де його було внесено в дозі 10 ГДК  $Cd^{2+}$ . За два наступні роки на даному варіанті цей показник зменшився в 3 рази, проте залишався найвищим порівняно з іншими варіантами досліду 3-го року.

Відомим є факт, що високі концентрації кадмію в ячмені на даній фазі розвитку можуть стати причиною зупинки росту рослин. Проте досліджувані нами концентрації важких металів у ґрунті не стали причиною такої негативної дії на рослину. Є дані, що пригнічення росту рослин у період сходів настає при рівні забруднення ґрунту – 400 мг/кг і вище, а 800 і 1000 мг/кг ґрунту зумовлює повне припинення росту. Високі концентрації кадмію у ґрунті спричиняють сповільнення росту апікальних меристем стебла, і сповільнюється темп проходження процесу онтогенезу [7, 14, 36].

У перший рік дослідження найвищим значенням КБП характеризувався варіант досліду, де ґрунт забруднено кадмієм в дозі 5 ГДК  $Cd^{2+}$ . На всіх варіантах досліду значення КБП в наступні два роки знижувалося. Порівняно з першим роком досліджень у 3-му році КБП знизився у три рази на ділянках 5 і 10 ГДК. Проте, як і у фазах цвітіння та повної стиглості, у фазі сходів значення КБП кадмію рослиною було у кілька разів вищим порівняно з цим показником при забрудненні ґрунту свинцем.

Найбільша частина кадмію була в коренях, а найменша – в зерні. Варіант із відносно низькими концентраціями його у ґрунті (контроль та варіант досліду, де кадмій було внесено в дозі 1 ГДК), підтверджує здатність рослини перш за все захищати свої генеративні органи.

Дещо інша тенденція спостерігається на варіантах досліду, де кадмій було внесено у концентрації, яка перевищує значення ГДК у 5 і 10 разів. Тут більше полютанта у зерні, а не у соломі. Така закономірність також підтверджується і у ряді літературних джерел (на прикладі аналізу зерна пшениці) і дослідження Димиденок Ж. А. На варіанті контрольному і 1 ГДК вміст кадмію в зерні і в соломі не був вищим за ГДК і така тенденція прослідковувалася впродовж усього дослідження.

Проте, на варіанті 5 ГДК  $Cd^{2+}$  вміст полютанта у зерні вже був 0,41 мг/кг у 1-й рік дослідження. В наступні два роки цей показник знижувався, але був у 2 рази вищим за допустиму його концентрацію у зерні. Найбільша кількість кадмію була зафіксована у зерні, яке вирощували за умов забруднення ґрунту в дозі 10 ГДК. У перший рік дослідження концентрація кадмію у зерні перевищувала його концентрацію у зерні на контрольних ділянках майже у 18 разів, а у другий і третій рік відповідно у 13 і 9 разів (табл. 3.1).

Відомо, що при вмісті кадмію 5 мг/кг спостерігається зниження урожайності зернових [4, 38]. Проте в наших дослідах у рослинах, які були вирощені на дослідних ділянках з вище зазначеним рівнем забруднення ґрунту, такої концентрації кадмію не виявлено. Результати дослідження показують, що невисокі дози кадмію у ґрунті викликали стимулюючий ефект показника – маса 1000 насінин, а на варіантах 5 і 10 ГДК  $Cd^{2+}$  маса 1000 насінин залишалася на рівні контролю (додаток Б).

При невисоких дозах кадмію не виявлено зниження продуктивності, але спостерігається кількарразове перевищення ГДК у зерні і це вже небезпечно.

Зерно більш чутливе до стресового фактора порівняно із загальною фітомасою, і тому відновлення втраченого рівня накопичення генеративної фракції фітомаси до контрольного рівня протікає повільніше, ніж у решти фракцій.

Отже, перевищення ГДК кадмію в зерні ячменю ярого наступало при вмісті рухомих форм цього металу в темно-сірому опідзоленому ґрунті 3,40 в 1-й рік, 2,09 в 2-му році і 1,50 мг/кг в 3-му році.

Для зерна значення КБП кадмію на контрольних ділянках залишалося незмінним впродовж трьох періодів дослідження. На варіанті – 10 ГДК вище вказаний показник був вищим від контролю у перший і другий рік на 20 %, а на третій рік він знизився нижче рівня КБП на контролі.

КБП для кадмію характеризувався значно вищими значеннями порівняно із свинцем.

Найменша кількість даного важкого металу локалізувалася у вегетативній фітомасі, де його кількість була рівна 0,11 – 0,69 мг/кг (загальна фітомаса 0,73 – 11,13) у період цвітіння та 0,08 – 0,59 мг/кг (загальна кількості фіто маса 0,54 – 9,42) у період цілковитої стиглості (табл. 3.1). Аналізуючи міграцію досліджуваного металу у системі “ґрунт-рослина” можна стверджувати, що найбільшу кількість екотоксиканта з ґрунту увібрала рослина у період цвітіння. Кількість кадмію у соломі збільшується відповідно до збільшення його концентрації у ґрунті, але притаманна тенденція зниження вмісту у соломі кадмію з кожним наступним роком. Відносно контролю вміст кадмію у фазі повної стиглості у 1-й рік у вегетативній фітомасі на варіанті 10 ГДК був у 6,6 раза більший; у 3,9 раза на варіанті 5 ГДК і вдвічі на варіанті 1 ГДК.

У 2-му і 3-му роках дослідження вміст кадмію у вегетативній частині майже не змінювався на контрольних ділянках, але поступово зменшувався на варіантах, де полютант було штучно внесено у різних кількостях (табл. 3.1).

Отримані дані підтверджують, що за умови забруднення ґрунтового середовища кадмієм у дозі 5 і 10 ГДК  $\text{Cd}^{2+}$  концентрація його в генеративній частині рослини та в соломі є значно вищою за ГДК, відповідно важливим є контроль під час заготівлі кормів і зерна.

Отже, коренева система є домінуючим фактором, який сприяє зниженню надходження токсикантів у генеративні частини ячменю.

Інтенсивність надходження і виведення кадмію з рослинного організму у великій мірі залежить від здатності рослини до його накопичення і виділення. Деякі види сільськогосподарських рослин мають певні механізми, які підтримують процес накопичення металів у певних допустимих межах. Найбільше пошкоджуються ті частини організму, де багато накопичилось важкого металу [28, 37]. Відомо, що під дією кадмію у коренях ячменю ярого знижуються показники катіонообмінної здатності та заряду поверхні коренів.

Найбільше кадмію акумулювалося у підземній фітомасі: від 0,62 до 10,44 мг/кг (у всій фітомасі 0,73 – 11,13 мг/кг) у період цвітіння, а також від 0,42 до 8,12 мг/кг (у всій фітомасі 0,54 – 9,42 мг/кг) у фазі цілковитої стиглості (табл. 3.1). Порівнюючи з контролем, полютанта у коренях (фаза цілковитої стиглості 1-й р., варіант 10 ГДК) було у 19,3 раза більше; у 9,8 разів на 5 ГДК і вдвічі на варіанті з 1 ГДК. Інтенсивність накопичення знижувалася у кожен наступний рік.

На варіанті 10 ГДК  $Cd^{2+}$  вище згаданий показник на 2-й р. зменшився порівняно з 1-м р. на 35,9 % і на 3-й р. на 24,8 %. За усі роки досліджень корені увібрали від 81,06 % (10 ГДК), 78,9 % (5 ГДК) до 73,8 % (1 ГДК) екополютанта від усієї кількості, яку поглинула рослина загалом.

У перший вегетаційний період корені ячменю з ділянок 10 ГДК  $Cd^{2+}$  характеризувались найвищим значенням КБП кадмію, а в останній рік даний показник навпаки був найнижчим відносно усіх інших варіантів. За усі три періоди дослідження КБП знизився на 72 %. З отриманих даних видно, що значення КБП для кадмію було в 2,5 – 3,6 раза вищим, ніж КБП для свинцю.

У перший рік проведення дослідження на варіанті забруднення ґрунту кадмієм у концентрації 15 мг/кг рослиною загалом було увібрано з ґрунту 32,5 %, у другий і третій роки – 13,8 та 11 % від початкової кількості даного металу у ґрунті. За час проведення дослідження ячменем було винесено з

грунтового середовища 57,3 % металу, а на варіанті забруднення ґрунту кадмієм у концентрації 30 мг/кг цей показник становив 53,7 % від початкової кількості даного металу у ґрунті. За роками дослідження показник на даному варіанті був схожим до попередньо описаного, а саме: 1-й рік – 31,4 %, 2-й – 13 % і 3-й – 9,3 %. З отриманих даних можна зробити висновок, що кадмій порівняно з свинцем більш інтенсивніше виводиться з ґрунту.

Поглинаний кадмій не акумулюється лише в кореневій системі, а переміщується по рослині, по-різному концентруючись в окремих органах. Наприклад, за умов різних концентрацій кадмію у ґрунтовому середовищі, солома інколи була менш забруднена, ніж зерно. На варіантах 5 і 10 ГДК Cd<sup>2+</sup> вміст екотоксиканта зменшувався таким чином: корені > зерно > солома, а на контролі і на варіанті 1 ГДК Cd<sup>2+</sup>: корені > солома > зерно.

Достовірна інформація щодо здатності різних рослин поглинати важкі метали дає можливість ведення сільського господарства таким чином, щоб отримувати екологічно безпечну продукцію.

Отже, у випадку вирощування ячменю ярого з якого можливо б було отримати екологічно безпечну продукцію, мінімальну ГДК кадмію в досліджуваному ґрунті, необхідно встановити на рівні вмісту рухомого кадмію – 1,50 мг/кг.

## **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 [22].

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 [20, 30].

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 [30].

#### **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 [22].

##### ***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, 30].

## ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що основна кількість штучно внесеного кадмію нагромаджується у двадцятисантиметровому кореневмісному шарі темно-сірого опідзоленого ґрунту.

2. Загалом, за роки досліджень частка акумульованого екотоксиканта у цьому шарі відносно усього досліджуваного профілю становив 67,2 %, 63,3 % та 64,9 % відповідно.

3. Виявлено, що значна кількість важкого металу закріплюється і в ілювіальному горизонті. Гумусовий та ілювіальний горизонти виконують бар'єрну функцію щодо потоку сполук кадмію вниз за горизонтами ґрунту.

4. Кадмій володіє високою рухомістю в темно-сірому опідзоленому ґрунті. За досліджуваних рівнів забруднення кореневмісного шару ґрунту у витяжку ацетатно-амонійного буфера з рН 4,8 переходило 24,9 – 49,7 % кадмію від валового його вмісту. Відсоток рухомих форм кадмію зменшується з кожним наступним роком.

5. Отже, кількість валових форм кадмію в певному горизонті залежить від початкової його кількості при внесенні в ґрунт, фізико-хімічних властивостей горизонту, кліматичних умов тощо. Кількість кадмію зменшувалася з глибиною і часом тривання навантаження на ґрунт.

5. Встановлено, що кадмій у ячмені перерозподіляється наступним чином: корені > зерно > солома (5 і 10 ГДК), а на контролі і на варіанті 1 ГДК  $Cd^{2+}$ : корені > солома > зерно. Найбільша кількість кадмію вбирається тест-культурою у період цвітіння.

6. Для зерна значення КБП кадмію на контрольних ділянках залишалось незмінним впродовж трьох періодів дослідження. На варіанті – 10 ГДК вище вказаний показник був вищим від контролю у перший і другий рік на 20 %, а на третій рік він знизився нижче рівня КБП на контролі.

7. Перевищення значення ГДК кадмію у зерні наступало за умов забруднення ґрунту в дозі – 5 ГДК.

8. За час проведення дослідження ячменем було винесено з ґрунтового середовища 57,3 % металу від початкової кількості даного металу у ґрунті.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аверченко В. І., Самойленко Н. М. Ґрунтознавство : навч. посіб. Харків: Мачулін, 2018. 118 с.
2. Вісник Львівського національного аграрного університету : агрономія. 2020. № 24. 319 с.
3. Войтюк Ю. Ю. Поглинання важких металів із ґрунту рослинністю зони техногенезу. *Вісник Дніпропетровського університету* : геологія, географія. 24 (2), 2016, 11–17.
4. Гораш О. С. Оцінка якості зерна сортів пивоварного ячменю на основі технологічного сортування. *Вісник аграрної науки* : рослинництво, кормовиробництво. 2005. № 2. С. 24–27.
5. Гребельна Н. В., В. В. Снітинський. Зміни основних параметрів ґрунту під впливом свинцю та кадмію. *Вісник Львівського національного аграрного університету* : агрономія. 2008. № 12 (1). С. 21–26.
6. 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
7. Дацко Т. М., Качмар Н. В., Дидів А. І., Багдай Т. В. Вивчення фіто токсичності іонів кадмію за фізіолого-біохімічними показниками. *Світові тенденції сучасних наукових досліджень: збірник наукових матеріалів XXXV Міжнародної науково-практичної інтернет - конференції*. (Вінниця, 28 жовтня 2019 р.). Вінниця. Ч. 4. С. 29–32.
8. Дидів А. І. Зменшення токсичності важких металів за використання добрива та меліорантів при вирощуванні буряка столового. *Теорія і практика інноваційних розробок молодих вчених у ґрунтово-агрохімічній науці: матеріали всеукраїнського наук.-практ. круглого столу для молодих вчених* (м. Харків, 18-19 травня). Харків: ФОП Бровін О.В., 2017. С. 56–58.

9. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта : учеб. Москва : Агропромиздат, 1985. 351 с.
10. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб.
11. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: пер. с англ. Москва : Мир, 1989. 439 с.
14. Качмар Н. В., Снітинський В. В. Вплив свинцю та кадмію на вибрані ботанічні та біохімічні показники ячменю ярого. *Екологія : вчені у вирішенні проблем науки, освіти і практики* : матеріали тез Міжнар. наук.-практ. конф. (Житомир, 18–19 березня). Житомир, 2010. С. 48–49.
15. Качмар Н. В., Форемна І. В., Дидів А. І. Особливості біологічного поглинання кадмію рослинами ячменю ярого. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Сільськогосподарські науки*. Львів, 2018. Т. 20, № 84. С. 16–20.
16. Коноваленко Л.І., Бондарева О.Б., Вінюков О.О. Вплив буферної здатності ґрунтів на біоаккумуляцію важких металів пшеницею озимою у зоні впливу ТЕС. Збалансоване природокористування. 2019. № 2. С. 65–70.
17. Корсун С.Г., Клименко І.І., Болоховська В.А., Болоховський В.В. Транслокація важких металів у системі «ґрунт-рослина» за вапнування та впливу біологічних препаратів. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 1. С. 26–35.
18. Лозовицька Т. М. Міграційні та екотоксикологічні властивості свинцю і кадмію в системі “ґрунт-рослина” : дис. ... канд. с.-г. наук : 03.00.16 – екологія. Львів, 2006. 154 с.
19. Міщенко З. А., Лешенко Г. В. Мікрокліматологія : навч. посіб. Київ : КНТ, 2007. 336 с.
20. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур: підруч.- 5-те вид., виправ., допов. Львів: НВФ "Українські технології", 2020. 806 с.

21. Пічкур В. О., Щеголева Л. Г., Попова Л. Б., Москалець В. В. Вплив вапнування, мікроелементних добрив і мікробних препаратів на обмін елементів у системі ґрунт-рослини сої за різного значення рН ґрунтового розчину. Матеріали наук.-практ. конф. молодих вчених. Київ : Ін-т агроекології УААН, 2007. С. 7–8.
22. Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві [Електронний ресурс] : наказ МНС України від 26 листопада 2012 року № 1353. Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z2075-12>.
23. Рослинництво : практикум. Зінченко О. І., Коротєєв А. В., Каленська С. М. та ін. / за ред. О. І. Зінченка. Вінниця : Нова кн., 2008. 536 с.
24. Ситіна О.М. Міграція важких металів у системі ґрунт-рослина техногенних ландшафтів (на прикладі м. Луганська) : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.18. Харків, 2010. 22 с.
25. Скопецька О. В., Косик О. І., Мусієнко М. М. Комплексний еколого-фізіологічний аналіз міграції та нагромадження свинцю в агроєкосистемах. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2004. Т. 36, № 1. С. 27–35.
26. Снітинський В., Дидів А., Качмар Н. Вплив добрив та меліорантів на фітопродуктивність капусти білоголової за забруднення ґрунту свинцем. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: агрономія*. Київ, 2018. Вип. 286. С. 329–338.
27. Снитынский В. В., Дыдив А. И. Эффективность различной систем удобрения и мелиорантов на подвижность свинца в почве и его влияние на биохимический состав капусты белокочанной. *Овощеводство: сборник научных трудов. Национальная академия наук Беларуси*. Минск, 2016. Т. 24. С. 40–47.

28. Тарнопільська О. М. Фізіологія рослин : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 159 с.
29. Фатєєв А.І., Лопушняк В.І. Вплив систем удобрення на рухомість кадмію в темно-сірому опідзоленому ґрунті західного лісостепу України. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. Вип. 82. С. 33–36.
30. Шудренко І. В. Охорона праці в галузі : навч. посіб. Житомир : ЖНАЕУ, 2017. 136 с.
31. 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.
32. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю (цинку, кадмію, заліза, кобальту, міді, нікелю, хрому, свинцю) в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії: ДСТУ 4770.1-9:2007.
33. Acta Agrophysica 168. Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzanskiego PAN w Lublinie. Lublin : POLIHUMNIA, 2009. Vol. 13, № 3. 812 p.
34. Chorna, V.I., Voroshylova, N.V., Syrovatko, V.A. Cadmium distribution in soils of Dnipropetrovsk oblast and its accumulation in crop production. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2018. Vol. 8, №1. P. 910–917.
35. Demont, M.; Boutakhrit, K.; Fekete, V.; Bolle, F.; Loco, J. K. Migration of 18 Trace Elements from Ceramic Food Contact Material: Influence of Pigment, pH, Nature of Acid and Temperature. *Food Chem. Toxicol.*, 2012. Vol. 50. P. 734–743.
36. Dydiv A., Kachmar N., Datsko T. Decrease of mobility of cadmium ions in soil and reduce of their accumulation in *Beta vulgaris* L. by applying of fertilizers and meliorants. *6-й Міжнародний конгрес “Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування”*: збірник матеріалі (Львів, 23–25 вересня 2020 р.).

Львів : Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2020. С. 143.

37. 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.

38. Khan, M. I. R., Nazir, F., Asgher, M., Per, T. S. & Khan, N. A. Selenium and sulfur influence ethylene formation and alleviate Cd-induced oxidative stress by improving proline and glutathione production in wheat. *Journal of Plant Physiol*, 2015. Vol. 173. P. 9–18.

39. Properties of leached forest-meadow chernozem polluted with lead and cadmium. Hrebela N and other. *Acta Agrophysica* 172. Lublin, 2009. Vol. 13, №3. P. 661–671.

40. Wang, Z., Qin, H. & Liu, X. Health risk assessment of heavy metals in the soil-water-rice system around the Xiazhuang uranium mine, China. *Environ. Sci. Pollut*, 2019. Vol. 26. P. 904–912 .



## *ДОДАТКИ*

**Параметри структури пор темно-сірого опідзоленого ґрунту,  
забрудненого кадмієм**

Глибина відбирання зразків ґрунту, см	Загальний об'єм пор, мм <sup>3</sup> /г	Загальна площа пор, м <sup>2</sup> /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
30 мг/кг ґрунту Cd <sup>2+</sup>					
0-10	426	3,44	495,3	1,211	51,63
10-20	515	3,73	552,2	1,100	56,61

**Маса 1000 насінин ячменю ярого, вирощеного на забрудненому кадмієм  
грунті (середнє за три роки)**

Варіант	Маса 1000 насінин, г
Контроль	66
1 ГДК	68
5 ГДК	64
10 ГДК	65,3
НІР <sub>05</sub> , Г	1,58